



**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

**FAKULTA STAVEBNÍ**

FACULTY OF CIVIL ENGINEERING

**ÚSTAV VODNÍCH STAVEB**

INSTITUTE OF WATER STRUCTURES

**NÁVRH ÚPRAVY TOKŮ S PŘIHLÉDNUTÍM  
K PROTIPOVODŇOVÉ OCHRANĚ A REVITALIZACI**

RIVER REGULATION AND FLOOD PROTECTION

**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

BACHELOR'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**

AUTHOR

Kamila Pechová

**VEDOUCÍ PRÁCE**

SUPERVISOR

Ing. DAVID DUCHAN, Ph.D.

**BRNO 2019**



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STAVEBNÍ

<b>Studijní program</b>	B3607 Stavební inženýrství
<b>Typ studijního programu</b>	Bakalářský studijní program s prezenční formou studia
<b>Studijní obor</b>	3647R015 Vodní hospodářství a vodní stavby
<b>Pracoviště</b>	Ústav vodních staveb

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>Student</b>	Kamila Pechová
<b>Název</b>	Návrh úpravy toků s přihlédnutím k protipovodňové ochraně a revitalizaci
<b>Vedoucí práce</b>	Ing. David Duchan, Ph.D.
<b>Datum zadání</b>	30. 11. 2018
<b>Datum odevzdání</b>	24. 5. 2019

V Brně dne 30. 11. 2018

---

prof. Ing. Jan Šulc, CSc.  
Vedoucí ústavu

---

prof. Ing. Miroslav Bajer, CSc.  
Děkan Fakulty stavební VUT

## PODKLADY A LITERATURA

Podklady:

- 1) Příčné a podélné profily úseku toku
- 2) Situace a digitální model terénu
- 3) Hydrologické podklady

Literatura:

- 1) Ven Te Chow, Open-Channel Hydraulics, 1959
- 2) Studijní opora "Proudění v systémech říčních koryt" a "Projekt vodní stavby".
- 3) ES 2007. Směrnice Evropského parlamentu a Rady 2007/60/ES ze dne 23. října o vyhodnocování a zvládání povodňových rizik.
- 4) MŽP ČR 2009. Metodika tvorby map povodňového nebezpečí a povodňových rizik. VÚV T.G. Masaryka v.v.i, Brno. Ministerstvo životního prostředí ČR, Praha.
- 5) Zákon 254/2001 Sb. o vodách a o změně některých zákonů (vodní zákon).

## ZÁSADY PRO VYPRACOVÁNÍ

Na vybrané lokalitě bude provedeno ověření kapacity koryta. Dále budou stanoveny rozlivy při povodňových průtocích. Na základě hydraulických výpočtů bude proveden návrh úpravy toku a protipovodňové ochrany s přihlédnutím k revitalizaci.

Výstupy:

- 1) Textová část
- 2) Mapové výstupy

## STRUKTURA BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

VŠKP vypracujte a rozčleňte podle dále uvedené struktury:

1. Textová část VŠKP zpracovaná podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (povinná součást VŠKP).
2. Přílohy textové části VŠKP zpracované podle Směrnice rektora "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací" a Směrnice děkana "Úprava, odevzdávání, zveřejňování a uchovávání vysokoškolských kvalifikačních prací na FAST VUT" (nepovinná součást VŠKP v případě, že přílohy nejsou součástí textové části VŠKP, ale textovou část doplňují).

---

Ing. David Duchan, Ph.D.  
Vedoucí bakalářské práce

## ABSTRAKT

Bakalářská práce je zaměřena na návrh úpravy toku s přihlédnutím k protipovodňové ochraně a revitalizaci na řece Svitavě v Bílovicích nad Svitavou. Na základě průběhu výšek hladin zjištěných z výpočtového modelu z programu HEC-RAS je navržena protipovodňová ochrana toku a tím zamezen rozliv řeky v intravilánu.

## KLÍČOVÁ SLOVA

Protipovodňová ochrana  
Bílovice nad Svitavou  
Svitava  
Úprava toku  
Rozliv vody  
HEC-RAS  
AutoCAD Civil 3D

## ABSTRACT

This bachelor thesis is focused on a proposal for adjustment of a flow with a consideration of an anti-flood protection and a revitalization the Svitava river in Bílovice nad Svitavou. Based on a course of the height of the water level discovered from a computational model from the HEC-RAS program is designed an anti-flood protection of the flow and this way the spilling of the river from an intravilan is prevented.

## KEYWORDS

Flood protection  
Bílovice nad Svitavou  
Svitava  
River adaptation  
Water flow  
HEC-RASAutoCAD Civil 3D

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Kamila Pechová *Návrh úpravy toků s přihlédnutím k protipovodňové ochraně a revitalizaci*. Brno, 2019. 54 s., 5 s. příl. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta stavební, Ústav vodních staveb. Vedoucí práce Ing. David Duchan, Ph.D.

## PROHLÁŠENÍ O SHODĚ LISTINNÉ A ELEKTRONICKÉ FORMY ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že elektronická forma odevzdané bakalářské práce s názvem *Návrh úpravy toků s přihlédnutím k protipovodňové ochraně a revitalizaci* je shodná s odevzdanou listinnou formou.

V Brně dne 24. 5. 2019

---

Kamila Pechová  
autor práce

## PROHLÁŠENÍ O PŮVODNOSTI ZÁVĚREČNÉ PRÁCE

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci s názvem *Návrh úpravy toků s přihlédnutím k protipovodňové ochraně a revitalizaci* zpracoval(a) samostatně a že jsem uvedl(a) všechny použité informační zdroje.

V Brně dne 24. 5. 2019

---

Kamila Pechová  
autor práce

## PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěla v první řadě poděkovat vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Davidu Duchanovi, Ph.D. za jeho odborné vedení, rady a připomínky při zpracování této práce. Dále bych také chtěla poděkovat své rodině za podporu během celého studia.

## OBSAH:

<b>1. Úvod .....</b>	<b>3</b>
<b>2. Cíle práce .....</b>	<b>4</b>
<b>3. Podklady.....</b>	<b>5</b>
<b>4. Metoda řešení .....</b>	<b>6</b>
4.1. Proudění kapaliny .....	6
4.2. Metoda po úsecích .....	6
<b>5. Zájmová lokalita .....</b>	<b>8</b>
5.1. Hydrologické údaje .....	13
5.2. Klimatické údaje .....	15
5.3. Geologické a pedologické údaje.....	16
5.4. Využití okolí toku .....	17
<b>6. Hydraulické výpočty .....</b>	<b>18</b>
6.1. Postup řešení.....	18
6.1.1. HEC-RAS.....	18
6.1.2. QGIS.....	19
6.1.3. AutoCAD Civil 3D .....	20
6.2. 1D model .....	21
6.2.1. Drsnosti.....	22
6.2.2. Okrajové podmínky .....	22
6.3. Výsledky.....	22
<b>7. Návrh protipovodňové ochrany.....</b>	<b>27</b>
7.1. Typy protipovodňové ochrany .....	27
7.1.1. Strukturální protipovodňová ochrana .....	27
7.1.2. Nestrukturální protipovodňová ochrana.....	30
7.2. Vlastní návrh protipovodňové ochrany .....	31
7.2.1. SO1 - Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 16,9837-17,0484 .....	32
7.2.2. SO2 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 16,4169-16,6969.....	33
7.2.3. SO3 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 15,8884-16,1539.....	34
7.2.4. SO4 – Výstavba mobilních hrazení .....	35
7.2.5. SO5 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 15,5983-15,8777.....	36
7.2.6. SO6 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 15,5537-15,5983.....	37
7.2.7. SO7 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 14,7489-15,5769.....	38
7.2.8. SO8 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 14,6839-15,5769.....	39
7.2.9. SO9 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 13,9316-14,7489.....	40
7.2.10. SO10 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 13,9924-13,9316.....	41



8. Hydraulické ověření navržené protipovodňové ochrany .....	43
9. Závěr.....	47
10. Literatura.....	48
11. Seznam obrázků .....	50
12. Seznam tabulek .....	52
13. Seznam zkratk a symbolů .....	53
14. Seznam příloh.....	54

## **1. Úvod**

Dosavadní zkušenosti z minulých let ukazují, že v zájmové lokalitě je vysoká pravděpodobnost výskytu povodní, které ohrožovaly životy obyvatelů, způsobovaly vysoké škody na majetku a ničily krajinu, a proto je nutné dbát na správnou úpravu koryta, ať už kvůli zmiňovaným povodním, kde největší byly zaznamenány v roce 1997 a 2006 anebo také kvůli dlouhotrvajícímu suchu, které v dnešní době zasahuje téměř 90 % území České republiky.

Zpracovaná bakalářská práce je zaměřena na návrh úpravy toku s přihlédnutím k protipovodňové ochraně a revitalizaci. Návrh je proveden na řece Svitavě v Bílovicích nad Svitavou.

## 2. Cíle práce

Hlavním cílem mé bakalářské práce je ochránit obec Bílovice nad Svitavou před extrémními průtoky. Na řece Svitavě v říčním kilometru 13,9316 – 17,1742 bude provedeno ověření kapacity stávajícího stavu koryta a základě ní je navržena protipovodňová ochrana (dále PPO).

Práce je rozdělená do třech částí. Na úvod jsou charakterizované základní informace o řece, klimatických, geologických a hydrologických podmínkách v zájmové oblasti. Dalším krokem jsou hydrotechnické výpočty vytvořené pomocí programu HEC-RAS a poslední část je věnovaná vlastnímu návrhu úpravy toku.

Cíle práce tedy jsou:

- Ověření kapacity původního koryta.
- Návrh protipovodňové ochrany (PPO).
- Ověření kapacity návrhu PPO.

### **3. Podklady**

V této bakalářské práci byly poskytnuty následující podklady:

[A] Povodí Moravy, s.p. příčné profily říčního kilometru 13,9316-17,17,1742, formát PDF, DXF.

[B] Povodí Moravy, s.p. podélný profil říčního kilometru 13,9316-17,17,1742, formát PDF, DXF.

[C] Povodí Moravy, s.p. situace říčního kilometru 13,9316-17,17,1742, formát PDF.

[D] Databáze DIBAVOD, 2018. Rozlivy  $Q_5$ ,  $Q_{20}$ ,  $Q_{100}$ , formát SHP.

[E] DMR5G. ČÚZK, [www.cuzk.cz](http://www.cuzk.cz)

## 4. Metoda řešení

V následujících kapitolách jsou popsány druhy proudění kapaliny a metoda po úsecích.

### 4.1. Proudění kapaliny

Proudění kapaliny v toku s volnou hladinou dělíme na:

- **Ustálené** – při ustáleném (stacionárním) proudění jsou hydraulické veličiny (průtok, průřezová rychlost, průtočná plocha) v čase neměnné a závisí jen na poloze.
- **Neustálené** – při neustáleném (nestacionárním) proudění jsou hydraulické veličiny funkcí času i polohy.
- **Rovnoměrné** – je nezvyklým případem pohybu ustáleného, při kterém jsou průtočné průřezy po celém úseku konstantní. Při ustáleném pohybu je průtok vody  $Q$  konstantní, průřezové rychlosti jsou také konstantní, to způsobuje konstantní sklon dna koryta, při jeho konstantních drsnostech a neměnných průtočných profilech.
- **Nerovnoměrné** – při nerovnoměrném ustáleném proudění jsou hydraulické veličiny konstantní v čase, ale průřezová rychlost a průtočná plocha se mění po délce proudu, to je určeno především proměnlivým sklonem dna koryta, proměnlivými průtočnými profilem, drsnostmi a jině. [4]

V této bakalářské práci je uvažované ustálené nerovnoměrné proudění, které program HEC-RAS řeší pomocí metody po úsecích. Tato metoda je popsána v následující kapitole.

### 4.2. Metoda po úsecích

Metoda po úsecích je nejpoužívanější metoda s postupným řešením. Tuto metodu je možné použít v případě prizmatických a přirozených koryt. Metoda vychází z Bernoulliho rovnice a je založena na postupném hledání druhé hloubky na úseku  $\Delta L$  (obr. 1). Koryto se rozdělí na úseky o délkách  $\Delta L_j$  a předpokládá se, že průtočné profile se mění s hodnotou  $S_i$ ,  $v_i$  v horním profile na hodnoty  $S_{i+1}$ ,  $v_{i+1}$  v dolním profile. Mezi profilem je průměrný sklon dna  $i_{0j}$  a celková ztrátová výška  $h_{zj}$ . Potom řešení vyplývá z Bernoulliho rovnice. [4]

$$i_{0j} \cdot \Delta L_j + h_i + \frac{\alpha v_i^2}{2g} = h_{i+1} + \frac{\alpha v_{i+1}^2}{2g} + h_{zj}, \quad (1)$$

Jak označíme rozdíl hladin na úseku  $\Delta h_j$ :

$$\Delta h_j = i_{0j} \cdot \Delta L_j + h_i - h_{i+1}. \quad (2)$$

Po úpravě rovnice (2) dostaneme:

$$\Delta h_j = \frac{\alpha(v_{i+1}^2 - v_i^2)}{2g} + h_{zj}, \quad (3)$$

kde  $g$  je tíhové zrychlení ( $9,806 \text{ m/s}^2$ ),  $\alpha$  Coriolisovo číslo,  $v_i$  a  $v_{i+1}$  rychlost v daných profilech a  $h_{zj}$  součet ztrát třením a místních na daném úseku.

Celkovou ztrátovou výšku  $h_{zj}$  dostaneme jako součet ztrát třením  $h_{tj}$  a ztrát místních  $h_{mj}$ :

$$h_{zj} = h_{tj} + h_{mj}, \quad (4)$$

zatímco ztrátovou výšku třením vyjádříme z Chézyho rovnice, kde  $i_{pj}$  je průměrný sklon čáry energie:

$$h_{zj} = i_{pj} \cdot \Delta L_j. \quad (5)$$

Místní ztráty vyjádříme jako část absolutní hodnoty rozdílu rychlostních výšek, kde  $\xi$  je součinitel místní ztráty:

$$h_{mj} = \xi \cdot \left| \frac{\alpha v_{i+1}^2 - \alpha v_i^2}{2g} \right|. \quad (6)$$

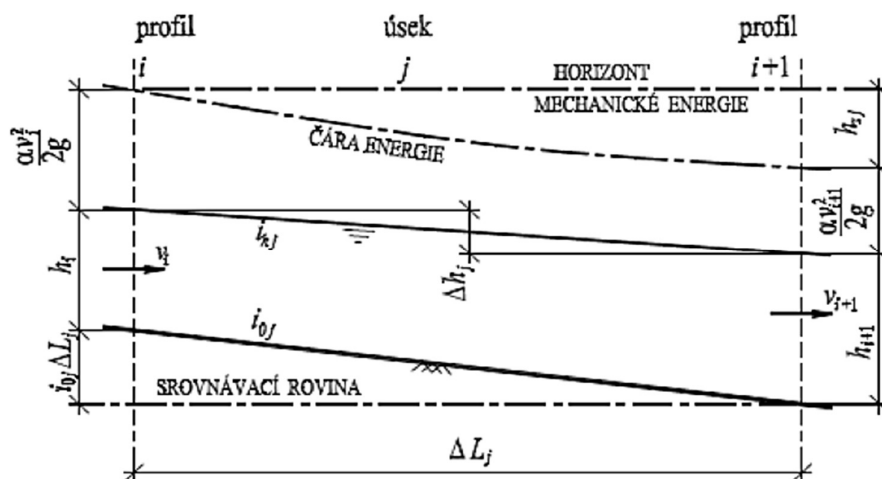
Výpočet sklonu čáry energie vychází z Chézyho rovnice:

$$i_{pj} = \frac{Q^2}{S_{pj}^2 \cdot C_{pj}^2 \cdot R_{pj}}, \quad (7)$$

kde  $Q$  je průtok daným úsekem koryta,  $S_{pj}$  průměrná hodnota průtočné plochy mezi sousedními profilem,  $C_{pj}$  průměrná hodnota Chézyho součinitele mezi sousedními profilem a  $R_{pj}$  průměrná hodnota hydraulického poloměru mezi sousedními profilem.

Na režimu proudění závisí směr postupu řešení:

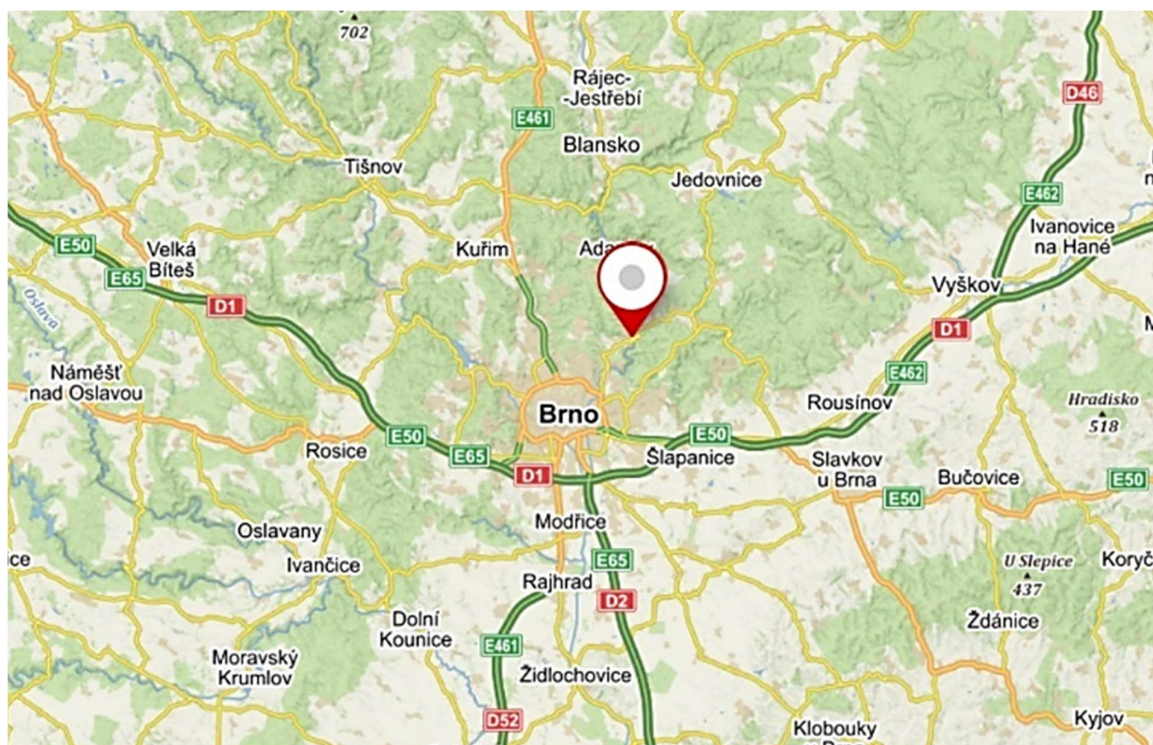
- Při **říčním proudění** se postupuje ve směru **proti proudu** a platí při rozdílu rychlostních výšek znaménko + pro řešení křivky vzdutí a – pro řešení křivky snížení.
- Při **bystřinném proudění** se postupuje ve směru **po proudu** a platí při rozdílu rychlostních výšek znaménko – pro řešení křivky vzdutí a + pro řešení křivky snížení. [4]



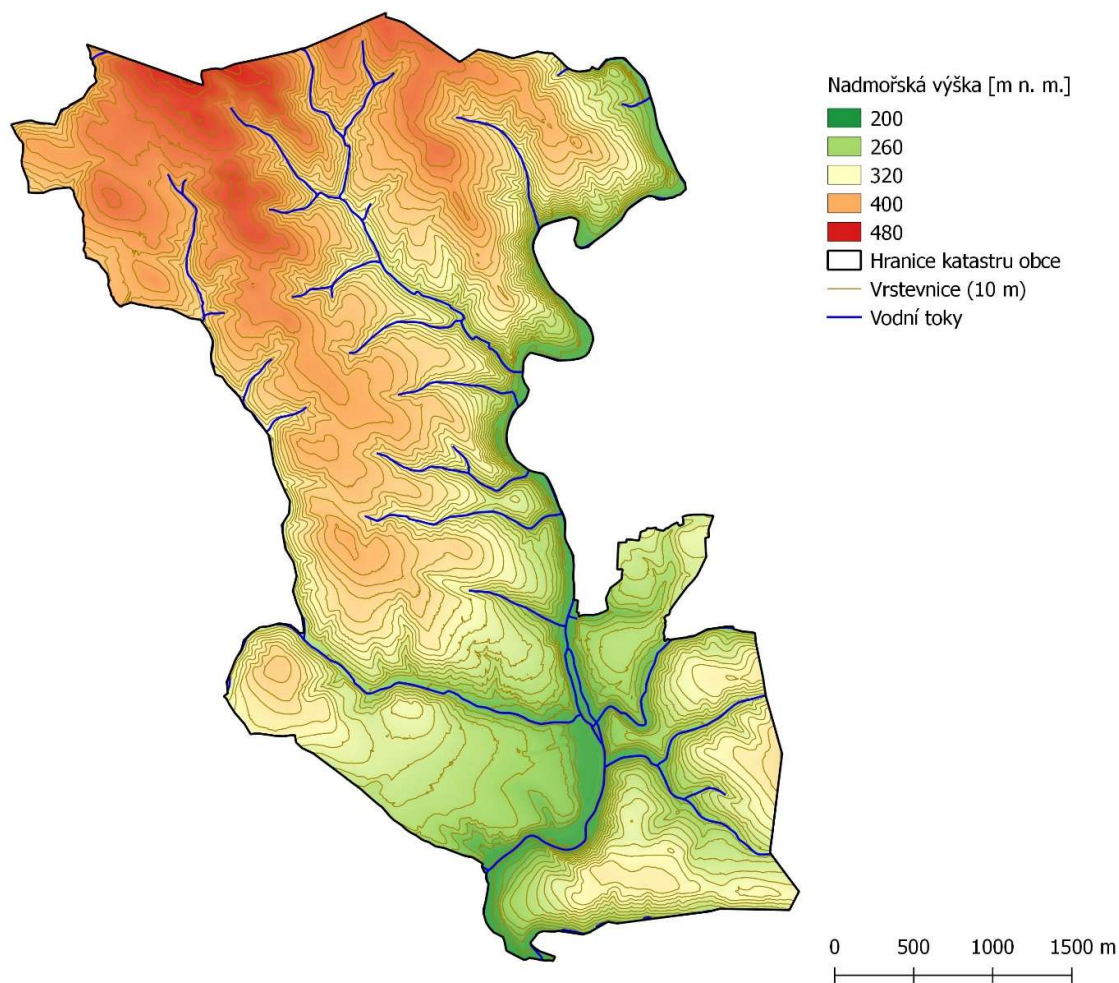
Obr. 1) Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění. [4]

## 5. Zájmová lokalita

Pro tuto bakalářskou práci byla vybrána zájmová lokalita Bílovice nad Svitavou. Bílovice nad Svitavou leží v nadmořské výšce 226 m n. m, severovýchodně od města Brna (obr. 2). Součástí obce Bílovice nad Svitavou je zřícenina hradu Obřany. Pod samotnou zříceninou, ale i celou obcí protéká řeka Svitava. Koryto toku je nejnižším místem města v nadmořské výšce 220 m n. m (obr. 3). Řeka Svitava pramení v malé vesničce Javorník, asi 5 km severozápadně od okresního města Svitavy, v Pardubickém kraji, v nadmořské výšce 478 m n. m. [1]



Obr. 2) Mapa s vyznačenou zájmovou lokalitou. [5]



Obr. 3) Nadmořská výška města Bílovice nad Svitavou a jeho blízkého okolí. [2]

Nejstaršími doloženými zmínkami o obci jsou z roku 1400. Dle archeologických nálezů lze ale říci, že zde vesnice existovala už mnohem dříve. Obec Bílovice nad Svitavou se nachází na frekventované železniční tepně Brno-Svitavy, která je součástí I. železničního koridoru. V katastrálním území města se dále nachází mnoho chat, historických budov, bývalá léčebna dlouhodobě nemocných a rozsáhlé lesy. Za nejvýznamnější stavbu města je považován místní kostel sv. Cyrila a Metoděje. [2]

Na toku Svitavy se v říčním kilometru 13,9316 – 17,1742 nachází 14 objektů. Mezi nejdůležitějšími objekty patří železniční most, silniční most, lávka a jez. Znázorněné objekty byly zhotovené během studia zájmové lokality, v období psaní této bakalářské práce (obr. 4 až 8). Objekty jsou vypsány v tab. 1.



Tab. 1. Objekty na toku v zájmové lokalitě.

Objekt	Říční kilometr
Železniční most	14,743
Propust pod železnicí	15,326
Výustí (Kuní potok)	15,656
Silniční most	15,584
Silniční most pod železnicí	15,665
Zaústění náhonu	15,720
Výustí (Časnýř)	15,829
Propust pod železnicí	18,829
Ocelová příhradová lávka	15,877
Výustí (Melatín)	15,891
Jez Bílovice	16,359
Odbočení náhonu	16,368
Propust pod železnicí	16,421
Propust pod železnicí	16,908



Obr. 4) Železniční most, říční kilometr 14,743.





Obr. 5) Silniční most, říční kilometr 15,584.



Obr. 6) Zaústění náhonu, říční kilometr 15,720.





Obr. 7) Ocelová příhradová lávka, říční kilometr 15,877.



Obr. 8) Odbočení náhonu, říční kilometr 16,368. Jez Bílovice, říční kilometr 16,359.

## 5.1. Hydrologické údaje

Nejvýznamnějšími toky na území obce Bílovice nad Svitavou jsou Svitava, Melatín, Kuní potok a Časnýř (obr. 9).

Svitava je hlavním tokem protékající městem Bílovice nad Svitavou. Protéká zájmovou oblastí přibližně od severu na jih. Svitava pramení severozápadně od Svitav a následně protéká okresy Blansko, Brno-venkov a Brno-město, v Jihomoravském kraji, kde se stává levostranným přítokem řeky Svatky. Celková délka jejího toku je 98,4 km. Plocha povodí dosahuje hodnoty přibližně 1150 km<sup>2</sup> a průměrný roční průtok v Bílovicích nad Svitavou je 5,22 m<sup>3</sup>/s (tab. 2. a 3.).

Melatín je pravostranným přítokem Svitavy, který pramení u obce Soběšice. V intravilánu města Bílovice nad Svitavou protéká zastavěnou částí ulice Husovy.

Kuní potok je levostranným přítokem Svitavy, který pramení v lokalitě Kuní žleb. Do Kuního potoka ústí ještě Ušácký potok a to u Myslivny lišky Bystroušky.

Časnýř je levostranným přítokem Svitavy, který pramení u obce Ochoz u Brna. V intravilánu obce Bílovice nad Svitavou protéká zastavěnou částí ulice Havlíčkovy. [3]

Tab. 2. Základní hydrologické charakteristiky vodního toku Svitavy na území obce Bílovice nad Svitavou. [3]

Místo profilu	Říční kilometr	Q <sub>a</sub> [m <sup>3</sup> /s]	N-leté průtoky [m <sup>3</sup> /s]						
			1	2	5	10	20	50	100
Bílovice nad Svitavou, Svitava	15,5	5,22	37,0	53,0	78,0	99,0	122,0	153,0	179,0

Tab. 3. Základní hydrologické charakteristiky dalších vybraných vodních toků na území obce Bílovice nad Svitavou. [3]

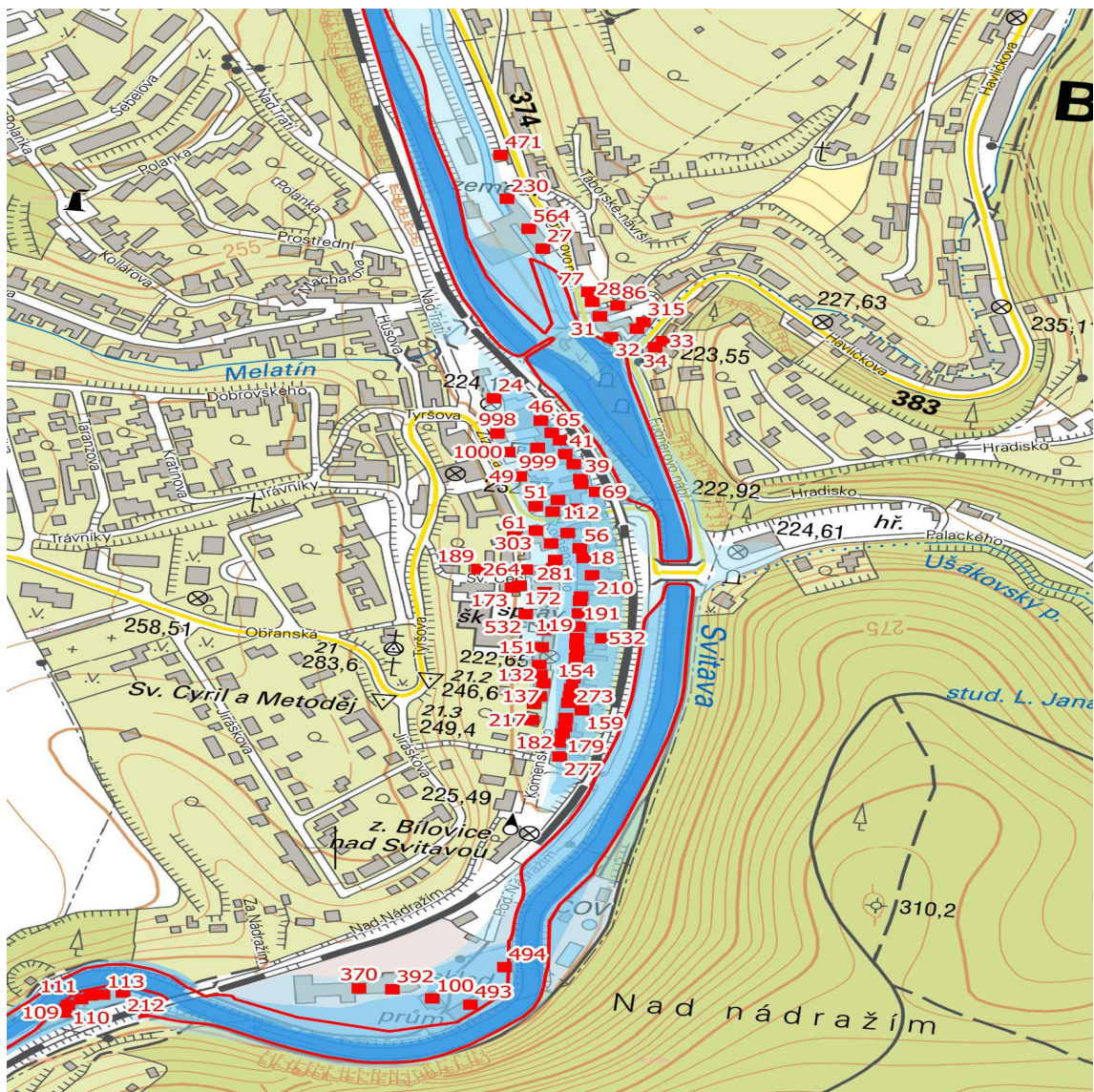
Tok	Plocha povodí [km <sup>2</sup> ]	Q <sub>a</sub> [m <sup>3</sup> /s]	N-leté průtoky [m <sup>3</sup> /s]						
			1	2	5	10	20	50	100
Časnýř	10,01	0,021	3,0	4,5	7,0	9,5	12,0	16,0	20,0
Melatín	6,84	0,015	2,8	4,0	6,5	9,5	12,5	16,0	19,0





*Obr. 9) Vodní toky města Bílovice nad Svitavou a jeho blízkého okolí. [3]*

Na území obce dochází kvůli povodňovým situacím k ohrožení zhruba 155 budov, které trvale obývá cca 180 obyvatel (obr. 10). Povodňové situace nejčastěji způsobují extrémní srážky. [3]



Obr. 10) Ohrožené objekty města Bílovice nad Svitavou. [3]

## 5.2. Klimatické údaje

Území města Bílovice nad Svitavou spadá dle Quittovy klimatické klasifikace (za období let 1961-2000) do mírně teplé oblasti MT11. Průměrná roční teplota se pohybuje kolem 8 °C a srážky kolem 600 mm ročně (tab. 4), současně ale velmi ovlivňuje oblastní klima charakter reliéfu. [2]

Tab. 4. Charakteristika dané klimatické oblasti. [2]

Charakteristika	MT11
Počet letních dnů	40 - 50
Počet dnů s průměrnou teplotou 10 °C a více	140 – 160
Počet mrazových dnů	110 – 130
Počet ledových dnů	30 – 40
Průměrná teplota v lednu [°C]	-2 – (-3)
Průměrná teplota v červenci [°C]	17 – 18
Průměrná teplota v dubnu [°C]	7 – 8
Průměrná teplota v říjnu [°C]	7 - 8
Průměrný počet dnů se srážkami 1 mm a více	90 – 100
Srážkový úhrn ve vegetačním období [mm]	350 – 400
Srážkový úhrn v zimním období [mm]	200 – 250
Počet dnů se sněhovou pokrývkou	50 – 60
Počet zamračených dnů	120 – 150
Počet jarních dnů	40 - 50

### 5.3. Geologické a pedologické údaje

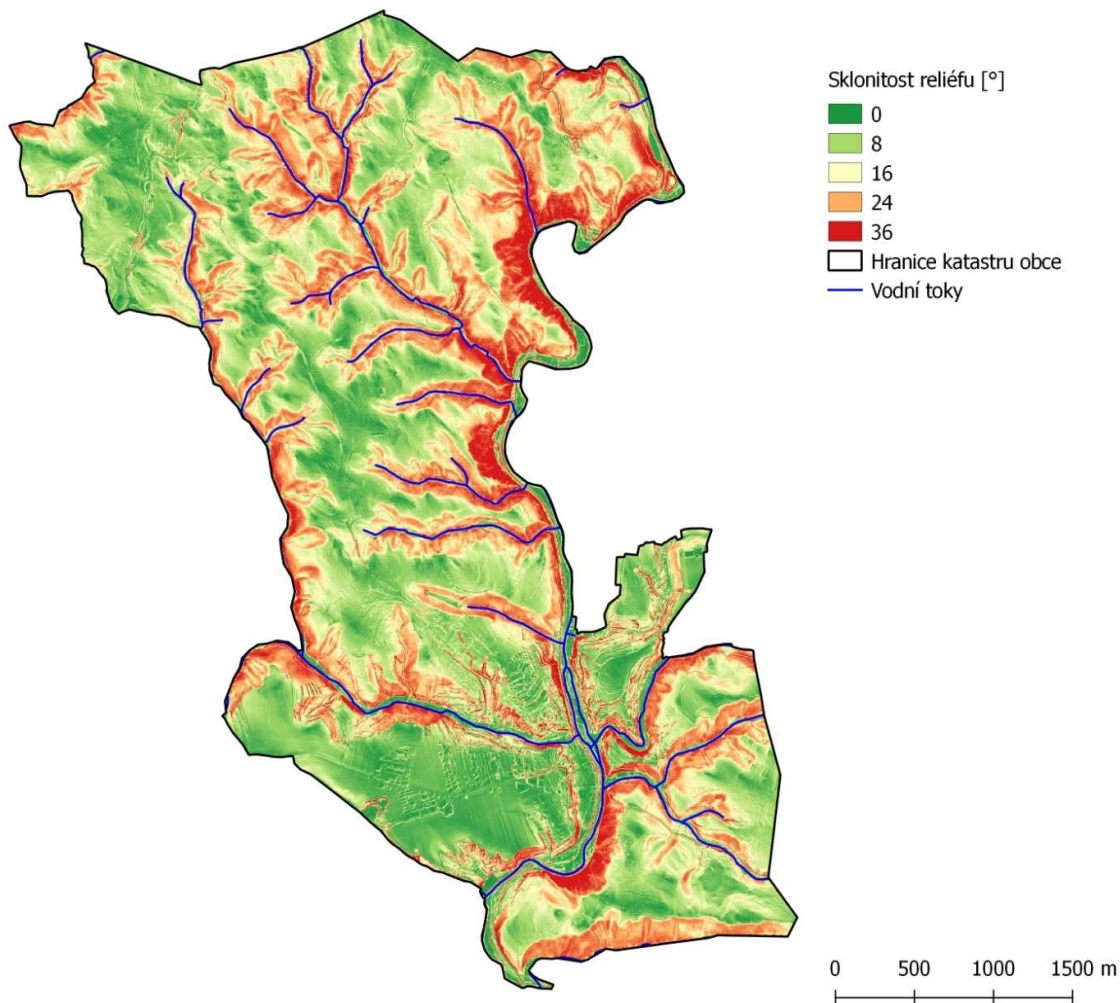
Město Bílovice nad Svitavou leží v geomorfologickém celku Drahanská vrchovina, v podcelku Adamovská vrchovina, která je podélně proříznutá údolím toku Svitavy. Adamovská vrchovina je tvořena zejména vyvřelými horninami. Členitost města má převážně charakter ploché vrchoviny rozčleněné hluboce zaříznutými údolními a příkrými svahy (obr. 11). Geologické podloží okolí Bílovic nad Svitavou tvoří zejména granodiority, s ostrůvkovitým výskytem aplitů a pegmatitů, z části jsou tyto horniny v blízkém kontaktu s kvartévními sprašovými hlínami. Dále můžeme v údolí vodních toků naléznout holocenní nivní sedimenty.

Celková rozloha města dosahuje 1 478 ha (tab. 5), z toho 77,9 % rozlohy tvoří lesní půda, 15,1 % rozlohy tvoří zemědělská půda (přitom 8,0 % celkové rozlohy je orná půda, 3,8 % zahrady, 0,8 % ovocné sady a 1,7 % trvalé travní porosty), 0,9 % rozlohy vodní plochy, 1,8 % rozlohy zastavěné plochy a 5,1 % rozlohy ostatní plochy. [2]

Tab. 5. Využití pozemků v obci Bílovice nad Svitavou. [2]

Druh pozemku	Plocha [ha]	Zastoupení [%]
Orná půda	118,2	8,0
Chmelnice	0,0	0,0
Vinice	0,0	0,0
Zahrady	57,0	3,8
Sady	11,9	0,8
Trvalé travní porosty	24,9	1,7
Lesní půda	1150,6	77,9
Vodní plochy	13,7	0,9
Zastavěné plochy	26,0	1,8
Ostatní plochy	75,6	5,1
Celková výměra katastrálního území	1477,9	100,0





Obr. 11) Sklonitost terénu města Bílovice nad Svitavou a jeho blízkého okolí. [2]

#### 5.4. Využití okolí toku

Tok Svitava patří dle metodiky do jedné z osmi kategorií, a to přesně do kategorie opatření na vodních tocích. Zatřídění do samotných kategorie závisí na třech metodikách, a to:

- Metodika postupu komplexního řešení protipovodňové a protierozní ochrany pomocí přírodě blízkého opatření.
- Metodika vsakování dešťových vod.
- Metodika pro tvorbu digitálních povodňových plánů. [12]

Tok Svitava se v zájmové oblasti nachází z celé části v intravilánu města Bílovice nad Svitavou. Koryto řeky Svitava je z hlavní části opevněno pouze travním porostem, pouze silniční a železniční mosty jsou opevněny kamenným obkladem.



## 6. Hydraulické výpočty

### 6.1. Postup řešení

Postup řešení zadané práce byl následující:

- Vytvoření digitálního modelu terénu na základě DMR5G.
- Vypsání bodů příčných profilů v programu Excel a jejich následné načtení do programu HEC-RAS.
- Dále vložení objektů (mostů, lávky a jezu) do programu HEC-RAS.
- Nastavení drsností v profilech.
- Nastavení okrajových podmínek v programu HEC-RAS pomocí 1D modelu.
- Spuštění výpočtu.
- Ověření kapacity existujícího stavu daného úseku.
- Návrh PPO.
- Hydraulické ověření navrženého PPO.

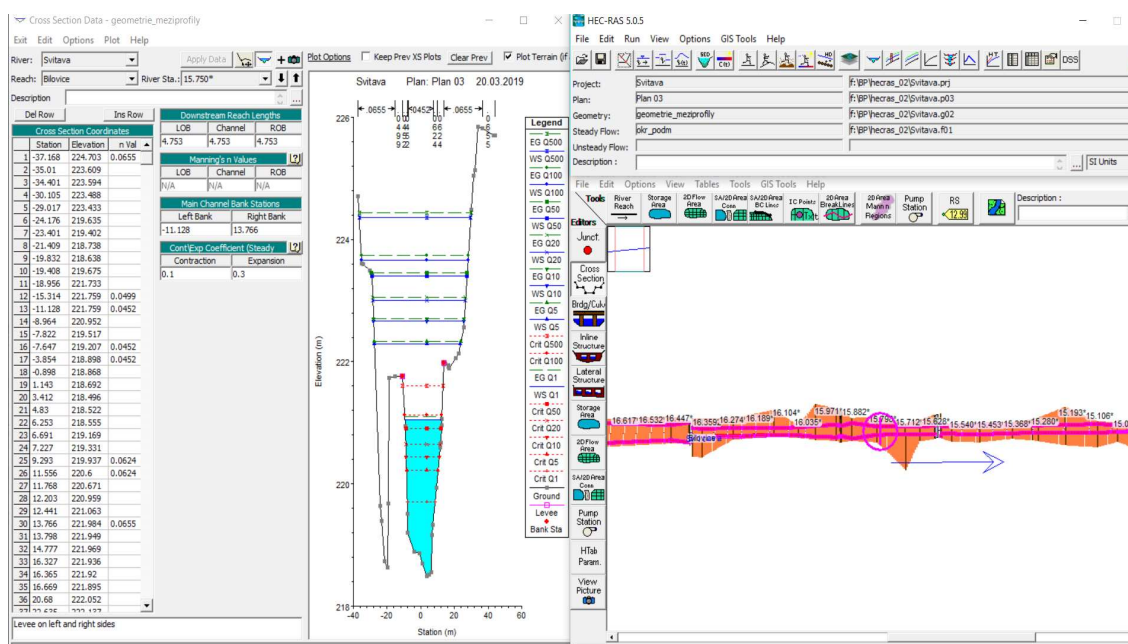
V rámci bakalářské práce byly použity programy HEC-RAS, QGIS, AutoCAD Civil 3D.

#### 6.1.1. HEC-RAS

Program HEC-RAS (obr. 12) je počítačový program, který modeluje hydraulické a hydrologické proudění vody přírodních řek a jiných kanálů. V dnešní době existuje v programu 1D a i 2D modelování. [6]

HEC-RAS byl v roce 1964 vyvinut armádou Spojených států amerických a jeho zkratka HEC-RAS znamená Hydrologic Engineering Centree – River Analysis System. Tento program je volně přístupný a používá se hlavně k analýze hydraulických a hydrologických dat. Program byl v prvních řadách vyvinut hlavně pro hydraulický výpočet koryta toku v 1D, v novějších verzích nabízí už i 2D simulaci. HEC-RAS využívá při výpočtu Manningova součinitele drsnosti, a uvádí pro dané drsnosti typické příklady. Mezi výhody programu lze považovat to, že nabízí možnost importu vygenerovaných profilů toku do programu AutoCAD. Výpočet 2D dovoluje uvažovat s prouděním mimo koryto toku. Pro samotný výpočet je však nutno zadat potřebné podmínky pro proudění, protože program nerozlišuje proudění vody s rozdílnou hloubkou. K řešení tohoto problému se nabízí možnost vložení objektu „levees“, což způsobí, že výpočet bude probíhat pouze v navrženém korytě, dokud nedojde k navýšení hladiny vody. [13]

Pro řešení proudění toku je nutné zadat parametry jednotlivých zaměřených příčných profilů toku, a to hlavně tvar, hloubka a sklony svahů. Dalším krokem je stanovení okrajových podmínek pro zadaný tok, k tomu je nutné znát N-roční průtoky s hloubkami vody a podélným sklonem hladiny.



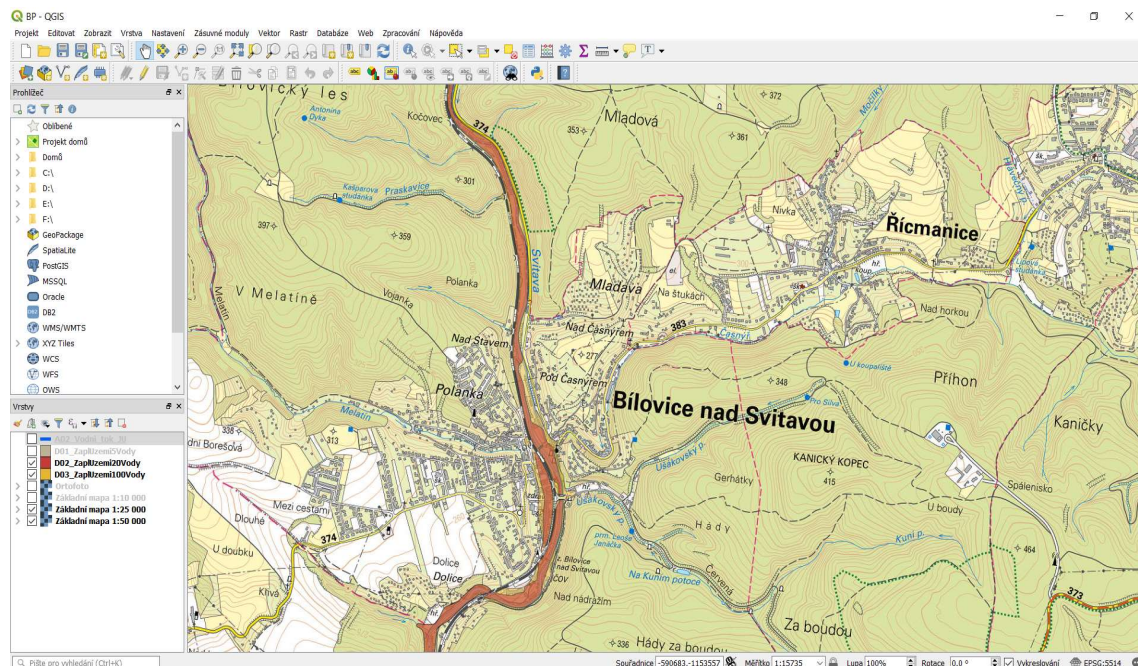
Obr. 12) Pracovní prostředí programu HEC-RAS.

### 6.1.2. QGIS

Program QGIS (obr. 13) byl vyvinut v 2002, avšak první verze byla uvedena v roce 2009. Jeho zkratka QGIS znamená Quantum Geographic Information System. Za hlavní výhody programu lze považovat rychlý vývoj programu a komerční používání softwaru. Program nabízí velkou škálu nástrojů, ať už se jedná o import, export, analýzu, prohlížení, a mnoho dalších funkcí souvisejících s úpravou mapových podkladů.

Program QGIS je organizovaný přehled počítačové techniky, programového vybavení a geografických dat. Je navržený tak, aby mohl efektivně získávat, ukládat, aktualizovat, analyzovat, přenášet a zobrazovat všechny druhy geografických informací. Program lze používat ve většině operačních systému jako je MS Windows, Linux nebo OS X. [14]

QGIS umožňuje zejména prohlížení, tvorbu a editaci rastrových a vektorových geodat, zpracování GPS dat a tvorbu mapových výstupů. Funkčnost rozšiřují zásuvné moduly, z pohledu analýz geografických dat je významný modul zpřístupňující funkce GRASS GIS – QGIS tak může sloužit jako jeho nadstavba. [7]



Obr. 13) Pracovní prostředí programu QGIS.

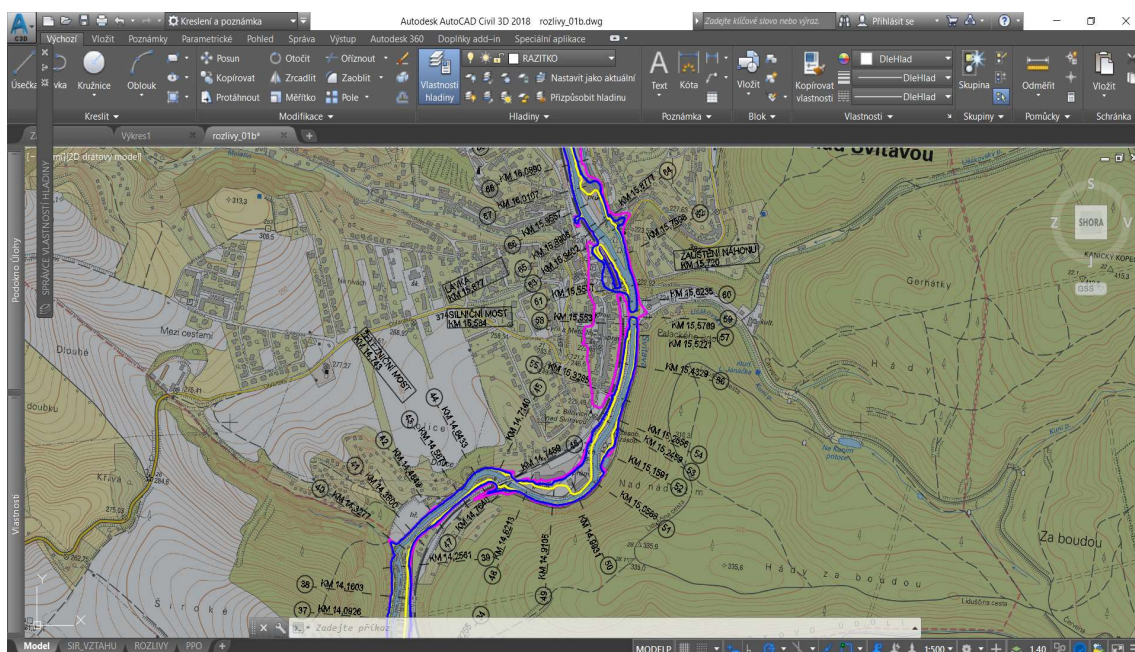
### 6.1.3. AutoCAD Civil 3D

AutoCAD Civil 3D (obr. 14) je aplikace společnosti Autodesk, založená na klasickém AutoCADU. Slouží jako nástroj pro tvorbu a návrh inženýrských staveb. Program je určen pro stavební inženýry, projektanty a techniky pracující zejména v dopravní infrastruktuře, liniových a plošných stavbách, nebo také u územního rozvoje a vodohospodářských projektech.

Mezi podporované formáty patří standartní formáty všech produktů Autodesk. Civil 3D umí také pracovat s formáty konkurenčních typů dat jako např. .dgn, .shp a dalšími uživatelsky rozšířenými formáty programů.

Program AutoCAD Civil 3D umožňuje správu a tvorbu objektů, importy a exporty digitálního terénu, práci se souřadným systémem, tvorbu a aktualizaci 3D modelů terénu, návrhy směrových a výškových řešení a vzorových příčných řezů, modelování koridorů, automatickou tvorbu příčných a podélných profilů, výpočty kubatur zeminy, práci s parcelami, vizualizaci. Lze spustit jako klasický AutoCAD i se všemi jeho standartními funkcemi. Samotné pracovní prostředí CIVILU 3D je podobné prostředí klasického AutoCADU. [8]

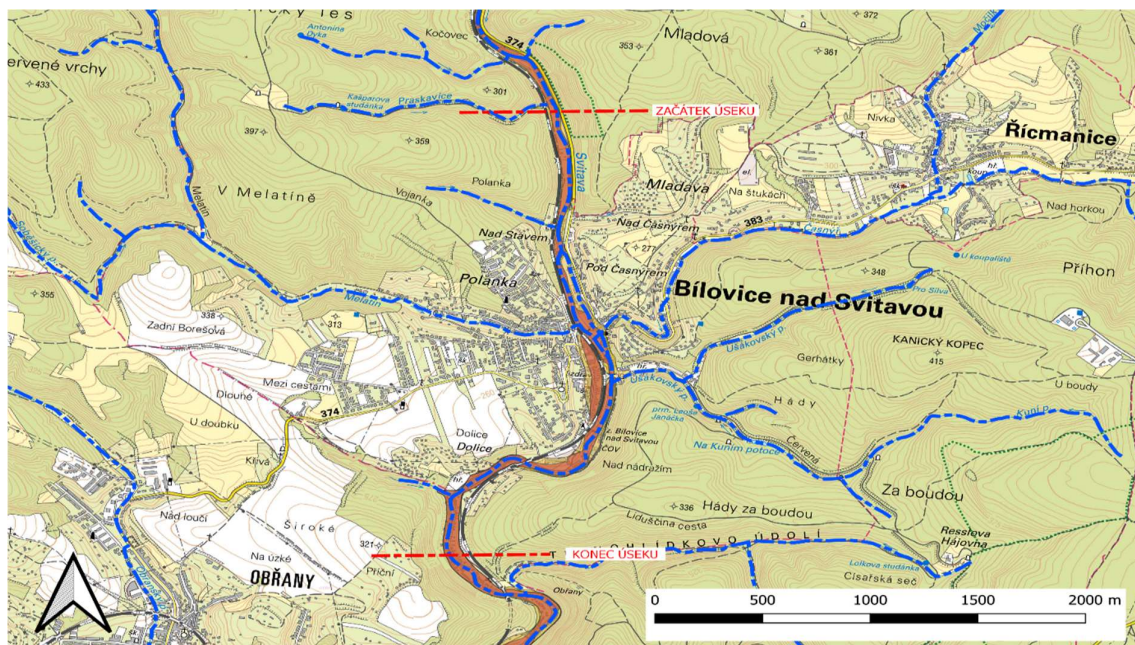




Obr. 14) Pracovní prostředí programu AutoCAD Civil 3D.

## 6.2. 1D model

Pro vytvoření 1D modelu bylo v celkové délce 3,2426 km, v říčním kilometru 13,9316–17,1742 (obr. 15), použito 42 zaměřených příčných profilů [A], které vystihují oblast koryta mnohem přesněji než digitální model terénu [E]. Tyto profily byly zapsány do geometrie programu HEC-RAS, včetně drsností a okrajových podmínek. Do programu byly také zaneseny všechny objekty na toku (tab. 1.). Poté byl spuštěn výpočet, na základě, kterého byly zjištěny výšky hladin.



Obr. 15) Situace řešeného úseku.

### 6.2.1. Drsnosti

Určení drsností koryta je podstatně náročnější úloha. Jednotlivým druhům povrchu v korytě byly dle odborné literatury (tab. 7.) a odborným odhadem přiděleny hodnoty Maningova součinitele drsnosti  $n$  (tab. 6.).

Tab. 6. Použité hodnoty drsnosti pro jednotlivé povrchy v řešeném úseku toku.

Druh území	$n$ (min)	$n$ (max)
Dno koryta	0,040	0,055
Tráva	0,035	0,055
Porost	0,040	0,055
Nábřežní zdivo z lomového kamene	0,025	0,038

Tab. 7. Ukázka tabulky pro stanovení Maningova drsnostního součinitele  $n$ . [15]

Přirozené vodní toky	$n$ (min)	$n$ (max)
1. Malé toky se šířkou hladiny při povodni < 30 m		
I. Rovinné toky		
a) čisté, přímé, zaplněný profil bez peřejí a tůní	0,025	0,033
b) totéž, ale s přítomností kamenů a plevel	0,030	0,04
c) zakřivená trasa, čisté koryto s tůněmi a peřejemi	0,033	0,045
d) se zákruty, tůněmi a brody, větší množství balvanů	0,045	0,060
e) bahnité úseky, hluboké tůně, plevel	0,050	0,080
2. Horské toky bez vegetace v korytě, břehy strmé, stromy a keře na březích zaplaveny při vysokém vodním stavu	0,030	0,070
II. velké vodní toky, šířka hladiny při povodni > 30 m	0,025	0,060
1. Pravidelný profil bez balvanů a keřů	0,030	0,100
2. Nepravidelný a drsný profil		

### 6.2.2. Okrajové podmínky

Při výpočtu v programu HEC-RAS je nutné znát okrajové podmínky, které byly zvoleny na základě  $N$ -ročních průtoků a sklonu hladiny toku. Na začátku úseku byla okrajová podmínka zadána 7 hodnotami průtoků, a to konkrétně  $Q_1$ ,  $Q_2$ ,  $Q_5$ ,  $Q_{10}$ ,  $Q_{20}$ ,  $Q_{50}$  a  $Q_{100}$  (tab. 2). Naopak na konci úseku byla okrajová podmínka zadána pomocí podélného sklonu hladiny 0,40 %, který byl zjištěn z úseku pod Bílovicemi nad Svitavou [C].

## 6.3. Výsledky

Výpočet byl proveden jako ustálené nerovnoměrné proudění při uvažování říčního proudění. Po zhotovení výpočtu byla zjištěna kapacita koryta (tab. 8. až 10.).

Tab. 8. Posouzení kapacity příčných profilů současného stavu koryta v daném úseku při Q<sub>5</sub>.

Označení PF	Staničení [km]	Výška hlad. [m n. m.]	LB [m n. m.]	PB [m n. m.]	Vybřežení LB	Vybřežení PB
PF77	17.1742	225.70	225.86	224.80	NE	ANO
PF76	17.0484	225.53	225.79	225.09	NE	ANO
PF75	16.9037	225.36	225.62	224.67	NE	ANO
PF74	16.7771	225.24	225.81	224.73	NE	ANO
PF73	16.6568	225.09	225.98	225.18	NE	NE
PF72	16.4169	224.70	225.68	224.89	NE	NE
PF71	16.3592	224.42	224.49	224.43	NE	NE
PF70	16.3187	223.10	223.68	223.44	NE	NE
PF69	16.2187	222.96	223.23	223.24	NE	NE
PF68	16.0890	222.69	223.03	223.08	NE	NE
PF67	16.0107	222.50	222.42	223.06	ANO	NE
PF66	15.9557	222.45	222.08	222.79	ANO	NE
PF65	15.8906	222.41	222.05	222.95	ANO	NE
PF64	15.8777	222.36	223.67	223.69	NE	NE
PF63	15.8402	222.35	223.39	223.67	NE	NE
PF62	15.7598	222.30	221.59	221.87	ANO	ANO
PF61	15.6695	222.14	223.20	222.95	NE	NE
PF60	15.6235	222.07	223.76	223.40	NE	NE
PF59	15.5769	222.04	224.04	223.98	NE	NE
PF58	15.5537	221.95	221.85	222.87	ANO	NE
PF57	15.5220	221.91	222.39	221.97	NE	NE
PF56	15.4329	221.78	222.26	221.64	NE	ANO
PF55	15.3284	221.58	221.52	221.44	ANO	ANO
PF54	15.2656	221.47	221.51	221.39	NE	ANO
PF53	15.2459	221.44	221.36	221.45	ANO	NE
PF52	15.1591	221.32	221.14	221.92	ANO	NE
PF51	15.0568	221.05	223.10	221.32	NE	NE
PF50	14.9931	220.79	222.17	221.83	NE	NE
PF49	14.9105	220.38	221.36	220.09	NE	ANO
PF48	14.8212	220.02	221.21	219.59	NE	ANO
PF47	14.7640	219.93	220.13	219.68	NE	ANO
PF46	14.7489	219.95	218.98	219.22	ANO	ANO
PF45	14.7140	219.84	219.12	219.68	ANO	ANO
PF44	14.6433	219.64	219.69	221.17	NE	NE
PF43	14.5671	219.50	219.61	221.73	NE	NE
PF42	14.4649	219.32	219.17	220.39	ANO	NE
PF41	14.3800	219.17	219.02	219.25	ANO	NE
PF40	14.3277	219.10	218.59	218.42	ANO	ANO
PF39	14.2561	218.88	219.22	220.52	NE	NE
PF38	14.1603	218.72	218.76	218.86	NE	NE
PF37	14.0925	218.60	218.15	219.01	ANO	NE
PF36	14.0226	218.47	219.10	220.27	NE	NE
PF35	13.9316	218.36	217.83	218.03	ANO	ANO

Tab. 9. Posouzení kapacity příčných profilů současného stavu koryta v daném úseku při  $Q_{20}$ .

Označení PF	Staničení [km]	Výška hlad. [m n. m.]	LB [m n. m.]	PB [m n. m.]	Vybřežení LB	Vybřežení PB
PF77	17.1742	226.20	225.86	224.80	ANO	ANO
PF76	17.0484	226.02	225.79	225.09	ANO	ANO
PF75	16.9037	225.82	225.62	224.67	ANO	ANO
PF74	16.7771	225.67	225.81	224.73	NE	ANO
PF73	16.6568	225.50	225.98	225.18	NE	ANO
PF72	16.4169	224.98	225.68	224.89	NE	ANO
PF71	16.3592	224.62	224.49	224.43	ANO	ANO
PF70	16.3187	223.81	223.68	223.44	ANO	ANO
PF69	16.2187	223.66	223.23	223.24	ANO	ANO
PF68	16.0890	223.36	223.03	223.08	ANO	ANO
PF67	16.0107	223.18	222.42	223.06	ANO	ANO
PF66	15.9557	223.16	222.08	222.79	ANO	ANO
PF65	15.8906	223.13	222.05	222.95	ANO	ANO
PF64	15.8777	223.07	223.67	223.69	NE	NE
PF63	15.8402	223.06	222.39	225.67	ANO	NE
PF62	15.7598	223.01	221.59	221.87	ANO	ANO
PF61	15.6695	222.83	223.20	222.95	NE	NE
PF60	15.6235	222.76	223.76	223.40	NE	NE
PF59	15.5769	222.72	224.04	223.98	NE	NE
PF58	15.5537	222.61	221.85	222.87	ANO	NE
PF57	15.5220	222.57	222.39	221.97	ANO	ANO
PF56	15.4329	222.45	222.26	221.64	ANO	ANO
PF55	15.3284	222.26	221.52	221.44	ANO	ANO
PF54	15.2656	222.15	221.51	221.39	ANO	ANO
PF53	15.2459	222.13	221.36	221.45	ANO	ANO
PF52	15.1591	222.04	221.14	221.92	ANO	ANO
PF51	15.0568	221.74	223.10	221.32	NE	ANO
PF50	14.9931	221.35	222.17	221.83	NE	NE
PF49	14.9105	220.98	221.36	220.09	NE	ANO
PF48	14.8212	220.57	221.21	219.59	NE	ANO
PF47	14.7640	220.50	220.13	219.68	ANO	ANO
PF46	14.7489	220.53	218.98	219.22	ANO	ANO
PF45	14.7140	220.41	219.12	219.68	ANO	ANO
PF44	14.6433	220.23	219.69	221.17	ANO	NE
PF43	14.5671	220.06	219.61	221.73	ANO	NE
PF42	14.4649	219.87	219.17	220.39	ANO	NE
PF41	14.3800	219.66	219.02	219.25	ANO	ANO
PF40	14.3277	219.60	218.59	218.42	ANO	ANO
PF39	14.2561	219.38	219.22	220.52	ANO	NE
PF38	14.1603	219.21	218.76	218.86	ANO	ANO
PF37	14.0925	219.10	218.15	219.01	ANO	ANO
PF36	14.0226	218.92	219.10	220.27	NE	NE
PF35	13.9316	218.82	217.83	218.03	ANO	ANO

Tab. 10. Posouzení kapacity příčných profilů současného stavu koryta v daném úseku při  $Q_{100}$ .

Označení PF	Staničení [km]	Výška hlad. [m n. m.]	LB [m n. m.]	PB [m n. m.]	Vybřežení LB	Vybřežení PB
PF77	17.1742	226.72	225.86	224.8	ANO	ANO
PF76	17.0484	226.52	225.79	225.09	ANO	ANO
PF75	16.9037	226.31	225.62	224.67	ANO	ANO
PF74	16.7771	226.13	225.81	224.73	ANO	ANO
PF73	16.6568	225.93	225.98	225.18	NE	ANO
PF72	16.4169	225.29	225.68	224.89	NE	ANO
PF71	16.3592	224.86	224.49	224.43	ANO	ANO
PF70	16.3187	224.5	223.68	223.44	ANO	ANO
PF69	16.2187	224.34	223.23	223.24	ANO	ANO
PF68	16.0890	224.02	223.03	223.08	ANO	ANO
PF67	16.0107	223.83	222.42	223.06	ANO	ANO
PF66	15.9557	223.85	222.08	222.79	ANO	ANO
PF65	15.8906	223.82	222.05	222.95	ANO	ANO
PF64	15.8777	223.76	223.67	223.69	ANO	ANO
PF63	15.8402	223.74	222.39	225.67	ANO	NE
PF62	15.7598	223.68	221.59	221.87	ANO	ANO
PF61	15.6695	223.62	223.2	222.95	ANO	ANO
PF60	15.6235	223.41	223.76	223.4	NE	ANO
PF59	15.5769	223.35	224.04	223.98	NE	NE
PF58	15.5537	223.21	221.85	222.87	ANO	ANO
PF57	15.5220	223.18	222.39	221.97	ANO	ANO
PF56	15.4329	223.06	222.26	221.64	ANO	ANO
PF55	15.3284	222.84	221.52	221.44	ANO	ANO
PF54	15.2656	222.73	221.51	221.39	ANO	ANO
PF53	15.2459	222.71	221.36	221.45	ANO	ANO
PF52	15.1591	222.63	221.14	221.92	ANO	ANO
PF51	15.0568	222.33	223.1	221.32	NE	ANO
PF50	14.9931	221.89	222.17	221.83	NE	ANO
PF49	14.9105	221.64	221.36	220.09	ANO	ANO
PF48	14.8212	221.12	221.21	219.59	NE	ANO
PF47	14.7640	221.09	220.13	219.68	ANO	ANO
PF46	14.7489	221.13	218.98	219.22	ANO	ANO
PF45	14.7140	220.99	219.12	219.68	ANO	ANO
PF44	14.6433	220.82	219.69	221.17	ANO	NE
PF43	14.5671	220.62	219.61	221.73	ANO	NE
PF42	14.4649	220.39	219.17	220.39	ANO	ANO
PF41	14.3800	220.11	219.02	219.25	ANO	ANO
PF40	14.3277	220.09	218.59	218.42	ANO	ANO
PF39	14.2561	219.85	219.22	220.52	ANO	NE
PF38	14.1603	219.67	218.76	218.86	ANO	ANO
PF37	14.0925	219.57	218.15	219.01	ANO	ANO
PF36	14.0226	219.43	219.1	220.27	ANO	NE
PF35	13.9316	219.31	217.83	218.03	ANO	ANO



Z předchozích tabulek lze vidět, že v daném úseku se nachází mnoho nekapacitních profilů, které nevyhovují průtokům  $Q_5$ ,  $Q_{20}$  a  $Q_{100}$ .

Získané hodnoty výšek hladin jednotlivých průtoků, z programu HEC-RAS, byly vykresleny v programu AutoCAD Civil 3D do situace rozlivů (příloha P3).

## 7. Návrh protipovodňové ochrany

Po samotném výpočtu stávajícího stavu toku, bylo provedeno srovnání modelu s podklady a poté navržena samotná PPO. Na stávajícím toku dochází na několika úsecích k vybřežení a zaplavení části města Bílovice nad Svitavou. Samotná úprava bude tedy z větší části navržena na stoletou vodu. Samotný typ PPO je vybrán na základě možnosti realizace na daném místě. Jelikož se ale jedná hlavně o zástavbu města, bude jako PPO použita úhlová stěna s kombinací mobilního hrazení.

### 7.1. Typy protipovodňové ochrany

Samotná PPO slouží k eliminaci povodní a minimalizaci způsobených škod povodněmi. PPO se obecně dělí na:

- Strukturální neboli technickou.
- Nestructurální.

#### 7.1.1. Strukturální protipovodňová ochrana

Strukturální PPO obsahují zejména úpravy vodních toků a jejich inundačních území. Tyto úpravy zajišťují zejména zvýšení kapacity koryta, stabilitu dna a břehů koryta a zvýšením retenční schopnosti okolních niv a záplavových území. Mezi hlavní výhody tohoto PPO patří okamžitý projev po jeho vybudování. [11]

Strukturální opatření se obecně dělí na [11]:

- Zvýšení kapacity koryta.
- Ochranné hráze.
- Povodňové zdi.
- Umělé retenční prostory.
- Zvýšení retenční schopnosti krajiny.
- Opatření blízka přírodě.

#### Zvýšení kapacity koryta

Zvýšení kapacity koryta může být dosaženo vhodnou úpravou sklonů svahů, prohloubením a vyčištěním koryta toku, zvýšením kapacity jednotlivých objektů nacházejících se na toku. Mezi nejčastější a nejpoužívanější úpravy patří úprava jednoduchého lichoběžníkového koryta na koryto složené lichoběžníkové (obr. 16). [11]



Obr. 16) Ukázka složeného lichoběžníkového koryta. [9]

### Ochranné hráze

Další možností strukturální PPO je výstavba ochranných hrází. Jsou to umělé hráze, budovány zejména na březích toku a hranicích záplavového území. Díky tomuto opatření zůstává voda soustředěna v prostoru mezi hrázemi a nezaplavuje tak okolí koryta. Ochranné hráze mohou být dvojího typu, a to homogenní nebo nehomogenní. Homogenní hráze tvoří pouze jeden typ materiálu, kdežto hráze nehomogenní tvoří více typů materiálu (obr. 17). [11]



*Obr. 17) Ukázka zemní ochranné hráze. [16]*

### Povodňové zdi

V městských částech se nejčastěji používá výstavba povodňových zdí a zídek. Účel tohoto opatření je stejný jako u ochranných hrází, tedy soustřeďování průtoku v prostoru mezi zdmi a ochrana okolí koryta. Povodňové zdi se budují zejména v místech, kde není příliš prostoru na jiná opatření (městské zástavby nebo podél komunikací). Povodňové zdi mohou být dvojího typu, a to stabilní (pevné) nebo mobilní.

Pevné povodňové zdi jsou nejčastěji monolitické betonové (obr. 18). Betonové konstrukce bývají vetknuté do podloží v břehové linii. U těchto zdí je nutné zamezit průsaku prosakující vody. To lze docílit například štětovou stěnou. V dnešní době se často využívají i gabionové konstrukce.



*Obr. 18) Ukázka stabilní protipovodňové zdi. [17]*

Mobilní povodňové zdi se budují v místech, kde není možné vybudovat pevné povodňové zdi (obr. 19). Nejčastěji kvůli důvodu zajištění průchodů a průjezdů vozidel. [11]



*Obr. 19) Ukázka mobilní protipovodňové zdi. [10]*



## Umělé retenční prostory

Jedná se o uměle vytvořené nádrže a suché poldry (obr. 20), které akumulují vodu při větších průtocích. Většinou se jedná o objemy ovladatelné a neovladatelné, kde manipulaci s těmito objemy určuje manipulační řád. [11]



Obr. 20) Ukázka suchého poldru. [17]

## Zvýšení retenční schopnosti území

Na zvýšení retenční schopnosti se podílí především vhodná výsadba flóry v okolí koryta. Vegetace díky svým kořenům zvyšuje soudržnost půdy a zabraňuje tím vymílání zeminy vodou. Mezi další opatření, která způsobují zvyšující retenční schopnost území, jsou například ochranné zalesnění, protierozní směr výsadby plodin, hrázkování, protierozní příkopy a zatravnění mezi jednotlivými pozemky. [11]

## Opatření blízka přírodě

Obsahují většinou úpravy pro zvýšení infiltrace a retence území. Jedná se zejména o biotechnická a lesotechnická opatření, která zahrnují především skladbu porostu. [11]

### 7.1.2. Nestrukturální protipovodňová ochrana

Nestrukturální PPO určuje vodní zákon 254/2001 Sb. Jedná se hlavně o přípravná opatření před hrozcí povodní. Jednotlivá nestrukturální opatření lze rozdělit do tří skupin:

- Opatření přípravná.
- Opatření prováděna při povodni.
- Opatření prováděna po povodni. [11]

## **7.2. Vlastní návrh protipovodňové ochrany**

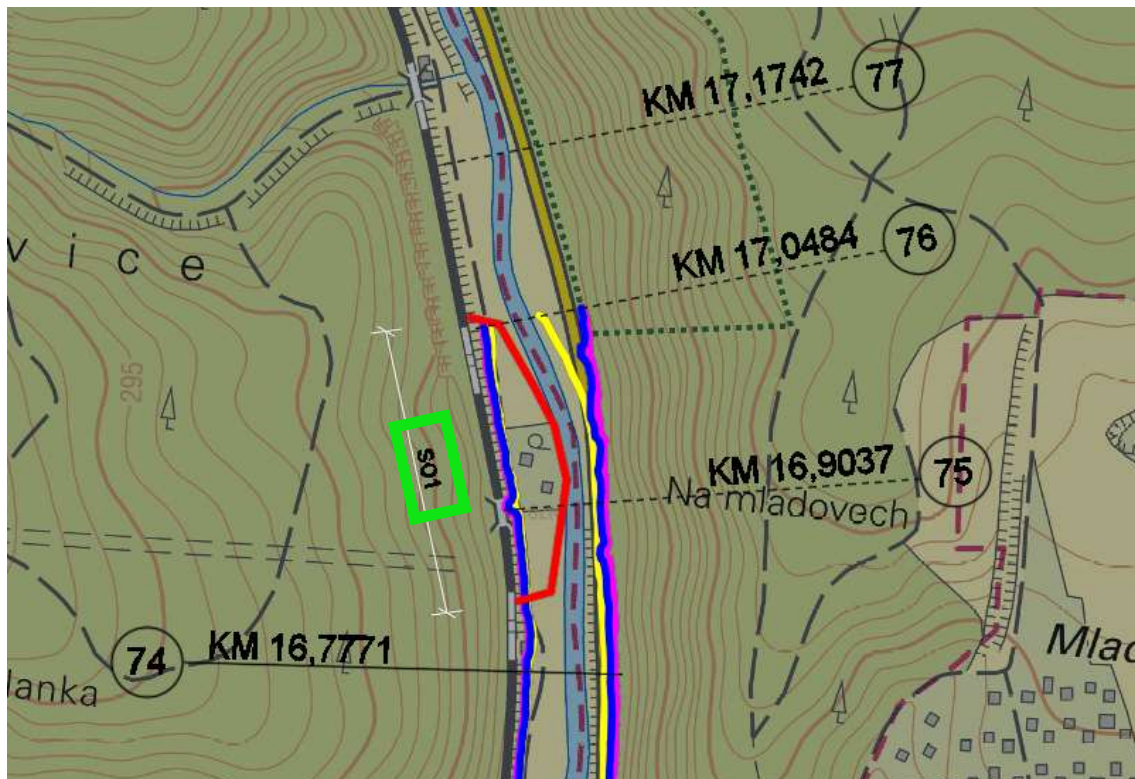
Současný stav ochrany před povodněmi na tomto úseku je nevyhovující. Navrhnutá PPO toku pro chatovou oblast je před 5-letou vodou, pro průmysl před 50-letou vodou a pro historické město před 100-letou vodou. Samotný návrh PPO byl proveden na základě mapy rozlivů, využití území a katastrálních map. Typ ochrany je vybrán na základě možnosti realizace na daném místě. V zástavbě je použita úhlová stěna a mobilní protipovodňové hrazení.

Po provedeném výpočtu stávajícího stavu a navržení PPO, je řešený úsek toku rozdělen na deset stavebních objektů.

- SO1 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 16,9837-17,0484.
- SO2 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 16,4169-16,6969.
- SO3 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 15,8884-16,1539.
- SO4 – Výstavba mobilních hrazení.
- SO5 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 15,5983-15,8777.
- SO6 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 15,5537-15,5983.
- SO7 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 14,7489-15,5769.
- SO8 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 14,6839-15,5769.
- SO9 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 13,9316-14,7489.
- SO10 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 13,9924-13,9316.

### 7.2.1. SO1 - Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 16,9837-17,0484

První úsek úpravy koryta toku se nachází nad obcí Bílovice nad Svitavou. Koryto zde není kapacitní ani pro průtok  $Q_5$ , a to konkrétně na pravém břehu koryta, kde byla jako PPO navržena úhlová stěna, aby ochránila chatovou oblast před průtokem  $Q_5$  (obr.21). Protipovodňová stěna byla navržena do nadmořské výšky (225,62-225,82) m n. m. V samotném návrhu je uvažováno s 30 cm rezervou nad hladinu  $Q_5$ . Stěna je dlouhá 254 m a oba její konce budou zavázány do svahu u železnice. PPO je primárně vedena přes pozemky povodí Moravy a města. Při vyšší hladině bude zahájen evakuační plán.

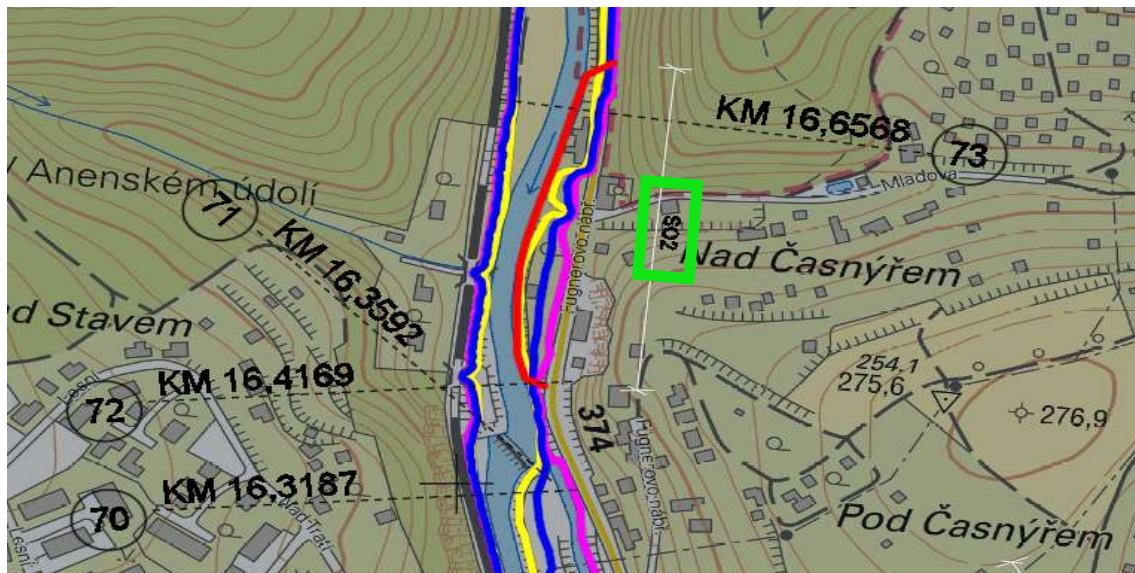


Obr. 21) PPO města Bílovice nad Svitavou (fialově – rozliv  $Q_{100}$ , modře – rozliv  $Q_{20}$ , žlutě – rozliv  $Q_5$ , červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrazení).



### 7.2.2. SO2 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 16,4169-16,6969.

Druhý úsek úpravy koryta se nachází na začátku obce Bílovice nad Svitavou. Koryto zde není kapacitní ani pro průtok  $Q_5$ , a to konkrétně na levém břehu koryta, kde byla jako PPO navržena úhlová stěna, aby ochránila chatovou oblast před průtokem  $Q_5$  (obr. 22, 23). Protipovodňová stěna byla navržena do nadmořské výšky (225,00-225,45) m n. m. V samotném návrhu je uvažováno s 30 cm rezervou nad hladinu  $Q_5$ . Stěna je dlouhá 301 m a oba její konce budou zavázány do svahu u komunikace. PPO je primárně vedena přes pozemky povodí Moravy a města. Při vyšší hladině bude zahájen evakuační plán.



Obr. 22) PPO města Bílovice nad Svitavou (fialově – rozliv  $Q_{100}$ , modře – rozliv  $Q_{20}$ , žlutě – rozliv  $Q_5$ , červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrazení).

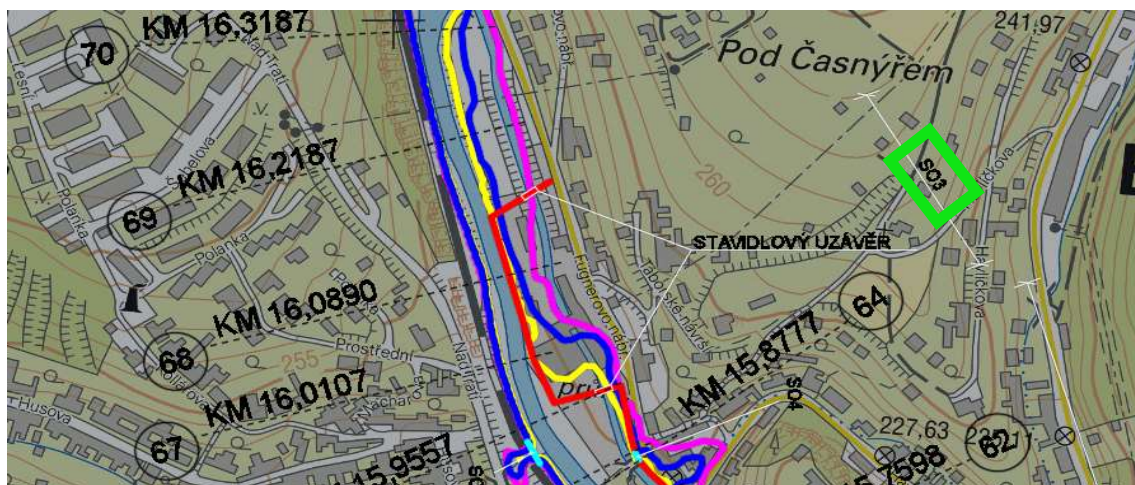


Obr. 23) Oblast výstavby PPO na levém břehu (popravní pohled).



### 7.2.3. SO3 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 15,8884-16,1539

Třetí úsek úpravy se nachází v horní části obce Bílovice nad Svitavou. Koryto zde není kapacitní ani pro průtok  $Q_5$ , a to konkrétně na levém břehu koryta, kde byla jako PPO navržena úhlová stěna, aby ochránila průmyslovou oblast před průtokem  $Q_{50}$  (obr. 24, 25). Protipovodňová stěna byla navržena do nadmořské výšky (224,13-224,55) m n. m. V samotném návrhu je uvažováno s 40 cm rezervou nad hladinu  $Q_{50}$ . Stěna je dlouhá 349 m a jeden její konec bude zavázán do svahu u komunikace a druhý konec bude ukončen u pěší lávky z důvodu volného průchodu. V případě povodně bude přes pěší lávku nainstalováno mobilní hrazení (SO4). PPO prochází dvakrát přes náhon, proto je nutné vybudovat přes něj stavidlové uzávěry. PPO je primárně vedena přes pozemky majitele průmysl. Při vyšší hladině bude zahájen evakuační plán.



Obr. 24) PPO města Bílovice nad Svitavou (fialově – rozliv  $Q_{100}$ , modře – rozliv  $Q_{20}$ , žlutě – rozliv  $Q_5$ , červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrazení).

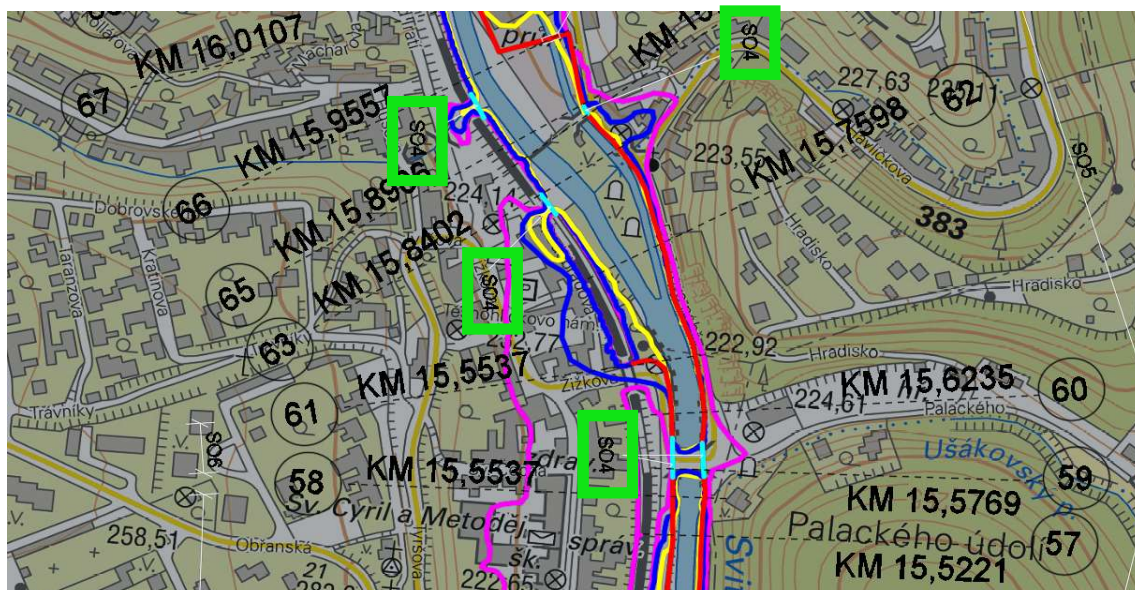


Obr. 25) Oblast výstavby PPO na levém břehu.



#### 7.2.4. SO4 – Výstavba mobilních hrazení

Čtvrtý stavební objekt se nachází ve střední části obce Bílovice nad Svitavou a jedná se o všechny mobilní hrazení (obr. 26). PPO je zde navržena z důvodu zamezení rozlivů vody do historické části obce, a to konkrétně na pravém břehu koryta u železničních mostů (obr.27), pak dále na levém břehu u pěší lávky, a to z důvodu evakuace z hospody pod lávkou, a v poslední řadě přes silniční most. Celková délka PPO je 108 m. Mobilní hrazení je navrženo u prvního železničního mostu do nadmořské výšky 224,1 m n. m., a u druhého do namořské výšky 224,47 m n. m. Hrazení u lávky je navrženo do nadmořské výšky (224,01-224,13) m n. m., a u silničního mostu na levém břehu do výšky (223,63-223,79) m n. m. a na pravém břehu do nadmořské výšky (224,17-224,30) m n. m. PPO je všude navržena tak, aby ochránila objekty před průtokem  $Q_{100}$ , kromě levého břehu u silničního mostu a lávky, kde je hrazení navrženo pro ochranu evakuační cesty před průtokem  $Q_{50}$ . Mobilní hrazení bude uskladněno v prostorách skladu patřící obecnímu úřadu. PPO je primárně vedena přes pozemky obce.



Obr. 26) PPO města Bílovice and Svitavou (fialově – rozliv  $Q_{100}$ , modře – rozliv  $Q_{20}$ , žlutě – rozliv  $Q_5$ , červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrazení).

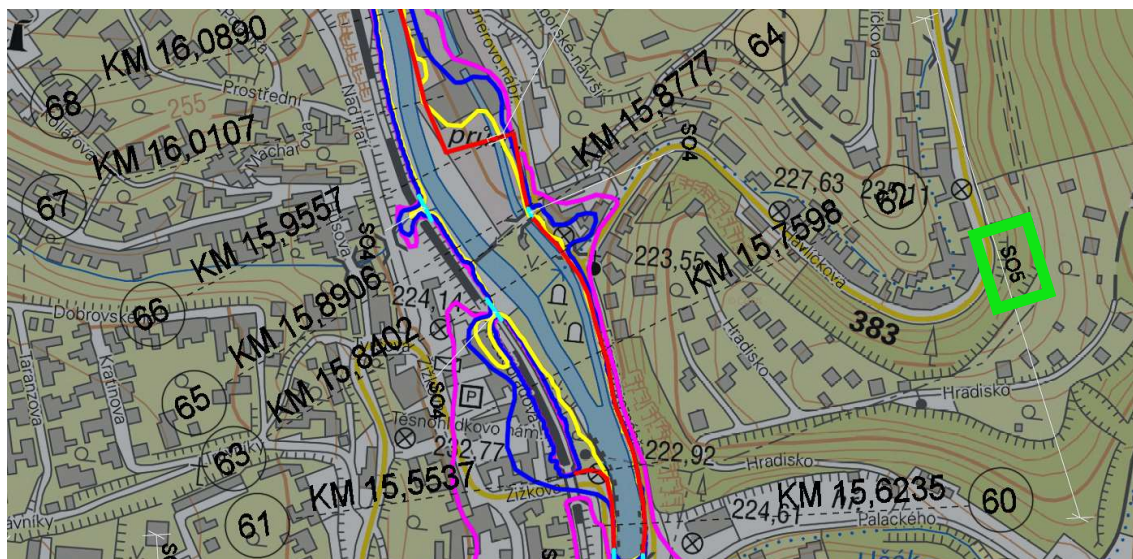


Obr. 27) Objekty výstavby PPO u železničních mostů na levém břehu.



### 7.2.5. SO5 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 15,5983-15,8777

Pátý úsek úpravy koryta toku se nachází ve střední části obce Bílovice nad Svitavou. Koryto zde není kapacitní ani pro průtok  $Q_5$ . Na levém břehu koryta je jako PPO navržena úhlová stěna, aby ochránila evakuační cestu před průtokem  $Q_{50}$  (obr. 28, 29). Protipovodňová stěna byla navržena do nadmořské výšky (223,79-224,01) m n. m. V samotném návrhu je uvažováno s 40 cm rezervou nad hladinu  $Q_{50}$ . Stěna je dlouhá 293 m. PPO bude z jedné strany ukončena u pěší lávky a z druhé strany u silničního mostu, a to z důvodu instalace mobilního hrzení v případě průchodu povodně. PPO je primárně vedena přes pozemky města. Při vyšší hladině bude zahájen evakuační plán.



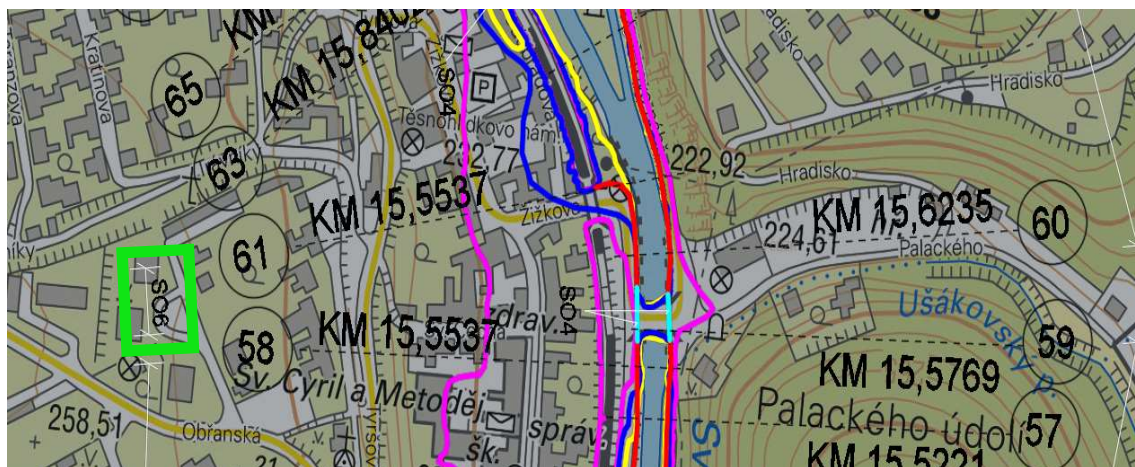
Obr. 28) PPO města Bílovice nad Svitavou (fialově – rozliv  $Q_{100}$ , modře – rozliv  $Q_{20}$ , žlutě – rozliv  $Q_5$ , červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrzení).



Obr. 29) Oblast výstavby PPO na levém (SO5) i pravém (SO6) břehu (protiproudí pohled).

### 7.2.6. SO6 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 15,5537-15,5983

Šestý úsek úpravy koryta toku se nachází ve střední části obce Bílovice nad Svitavou. Koryto zde není kapacitní pro průtok  $Q_{20}$ . Na pravém břehu koryta je jako PPO navržena úhlová stěna, aby ochránila historickou část obce před průtokem  $Q_{100}$  (obr. 29, 30). Protipovodňová stěna byla navržena do nadmořské výšky (224,13-224,30) m n. m. V samotném návrhu je uvažováno s 30 cm rezervou nad hladinu  $Q_{100}$ . Stěna je dlouhá 85 m. PPO bude z jedné strany zavázána do železničního mostu a z druhé strany ukončena u silničního mostu, a to z důvodu instalace mobilního hrazení v případě průchodu povodně. PPO je primárně vedena přes pozemky města. Při vyšší hladině bude zahájen evakuační plán.

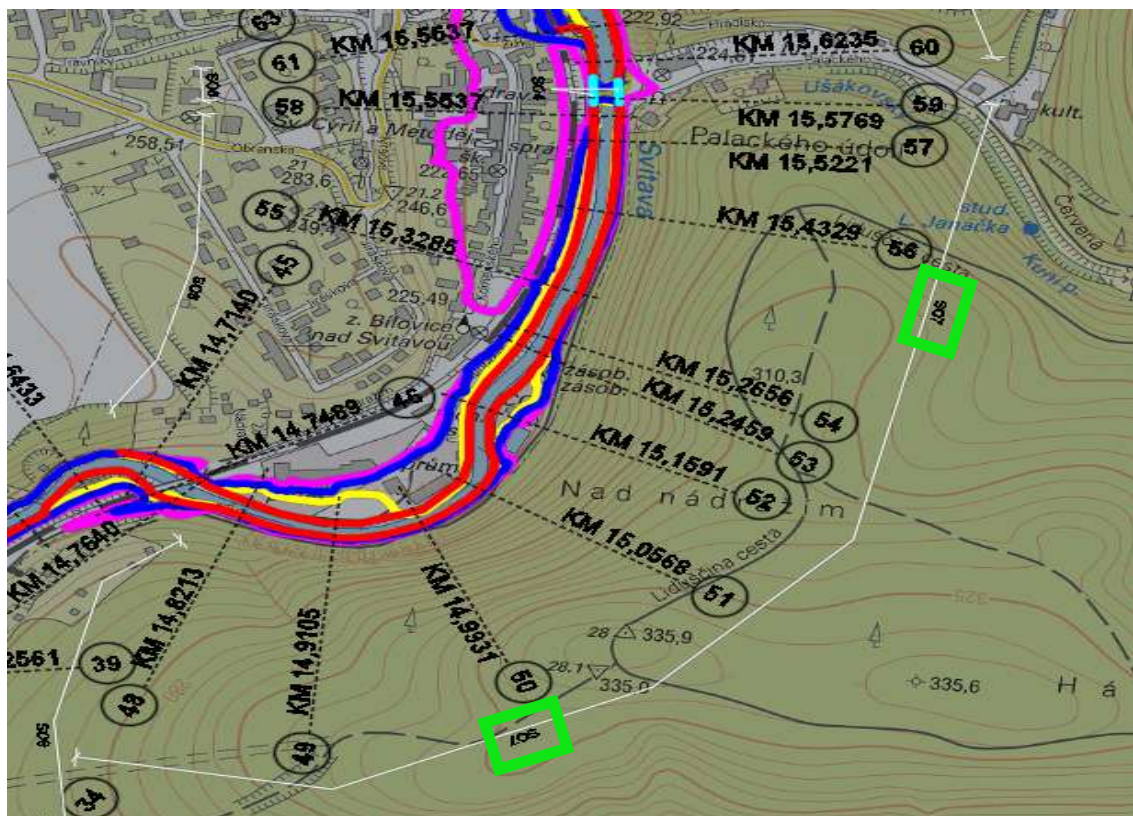


Obr. 30) PPO města Bílovice nad Svitavou (fialově – rozliv  $Q_{100}$ , modře – rozliv  $Q_{20}$ , žlutě – rozliv  $Q_5$ , červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrazení).



### 7.2.7. SO7 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 14,7489-15,5769

Sedmý úsek úpravy koryta toku se nachází v dolní části obce Bílovice nad Svitavou. Koryto zde není kapacitní ani pro průtok  $Q_5$ . Na levém břehu koryta je jako PPO navržena úhlová stěna, aby ochránila evakuační cestu (obr. 34) a čistírnu odpadních vod (obr. 32) před průtokem  $Q_{50}$  (obr. 31). Protipovodňová stěna byla navržena do nadmořské výšky (221,49-223,63) m n. m. V samotném návrhu je uvažováno s 40 cm rezervou nad hladinu  $Q_{50}$ . Stěna je dlouhá 856 m. PPO bude z jedné strany ukončena u silničního mostu a z druhé strany bude pod železničním mostem přecházet v SO9. PPO je primárně vedena přes pozemky povodí Moravy a města. Při vyšší hladině bude zahájen evakuační plán.



Obr. 31) PPO města Bílovice and Svitavou (fialově – rozliv  $Q_{100}$ , modře – rozliv  $Q_{20}$ , žlutě – rozliv  $Q_5$ , červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrazení).

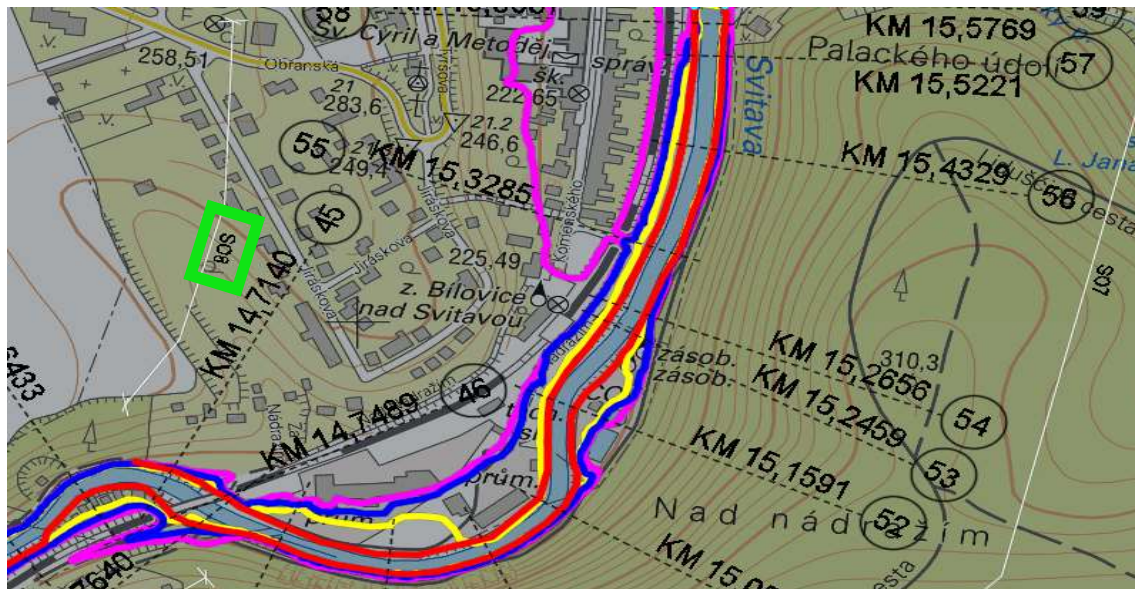


Obr. 32) Oblast výstavby PPO na levém břehu u čistírny odpadních vod.



### 7.2.8. SO8 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 14,6839-15,5769

Osmý úsek úpravy koryta toku se nachází v dolní části obce Bílovice nad Svitavou. Koryto zde není kapacitní ani pro průtok  $Q_5$ . Na pravém břehu koryta je jako PPO navržena úhlová stěna, aby ochránila evakuační cestu před průtokem  $Q_{50}$  (obr. 33, 34, 35). Protipovodňová stěna byla navržena do nadmořské výšky (221,39-224,17) m n. m. V samotném návrhu je uvažováno s 40 cm rezervou nad hladinu  $Q_{50}$ . Stěna je dlouhá 863 m. PPO bude z jedné strany ukončena u silničního mostu a z druhé strany bude zavázána do svahu u komunikace. PPO je primárně vedena přes pozemky města. Při vyšší hladině bude zahájen evakuační plán.



Obr. 33) PPO města Bílovice and Svitavou (fialově – rozliv  $Q_{100}$ , modře – rozliv  $Q_{20}$ , žlutě – rozliv  $Q_5$ , červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrazení).



Obr. 34) Oblast výstavby PPO na levém (SO7) i pravém (SO8) břehu (poproudňý pohled).

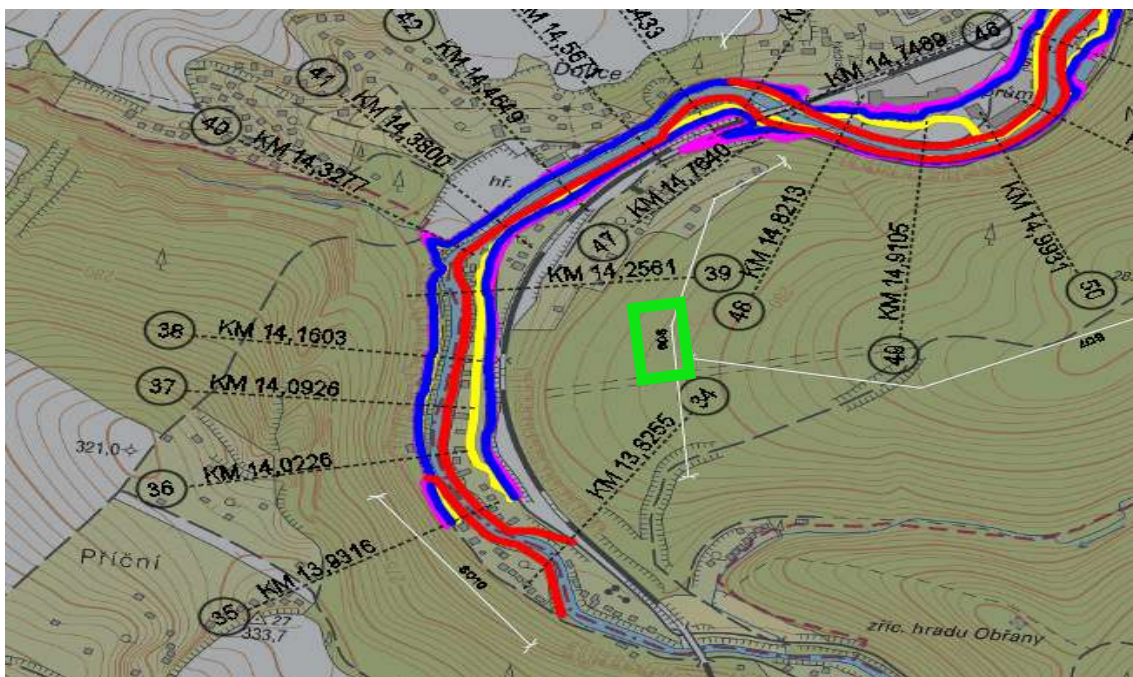




Obr. 35) Oblast výstavby PPO na pravém břehu (protiproudni pohled).

#### 7.2.9. SO9 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 13,9316-14,7489

Devátý úsek úpravy koryta toku se nachází pod obcí Bílovice nad Svitavou. Koryto zde není kapacitní ani pro průtok  $Q_5$ , a to převážně na levém břehu, kde jako PPO byla navržena úhlová stěna, aby ochránila chatovou oblast před průtokem  $Q_5$  (obr. 36, 37). Protipovodňová stěna byla navržena do nadmořské výšky (218,91-220,29) m n. m. V samotném návrhu je uvažováno s 30 cm rezervou nad hladinu  $Q_5$ . Stěna je dlouhá 778 m. PPO bude z jedné strany přecházet z SO7 a z druhé strany bude s největší pravděpodobností zavázána do svahu u komunikace, až za mým řešeným úsekem. PPO je primárně vedena přes pozemky povodí Moravy a města. Při vyšší hladině bude zahájen evakuační plán.



Obr. 36) PPO města Bílovice and Svitavou (fialově – rozliv  $Q_{100}$ , modře – rozliv  $Q_{20}$ , žlutě – rozliv  $Q_5$ , červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrazení).

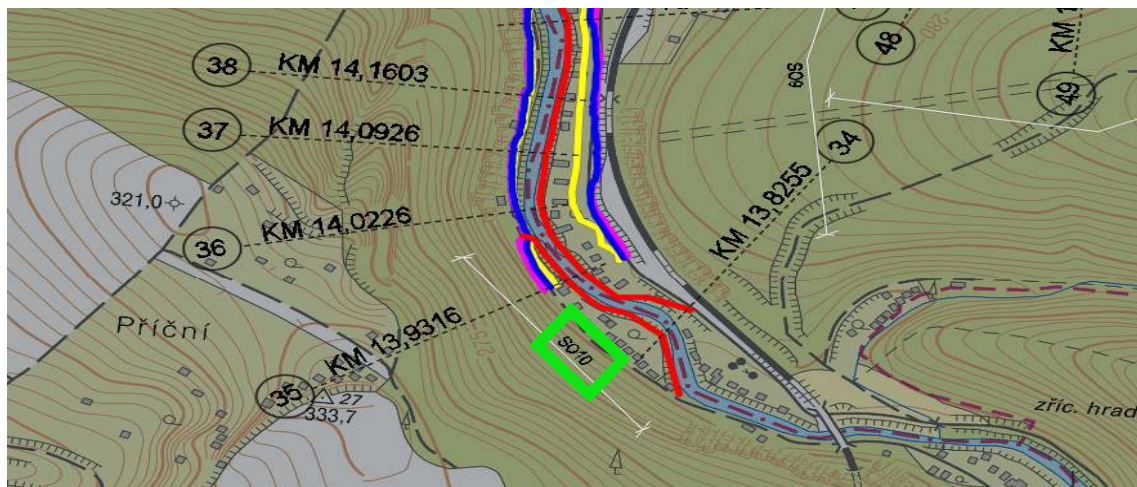




Obr. 37) Oblast výstavby PPO na levém břehu (protiproudni pohled).

#### 7.2.10.SO10 – Výstavba úhlové stěny, říční kilometr 13,9924-13,9316

Desátý úsek úpravy koryta toku se nachází pod obcí Bílovice nad Svitavou. Koryto zde není kapacitní ani pro průtok  $Q_5$ . Na pravém břehu koryta byla jako PPO navržena úhlová stěna, aby ochránila chatovou oblast před průtokem  $Q_5$  (obr. 38, 39). Protipovodňová stěna byla navržena do nadmořské výšky (218,91-218,99) m n. m. V samotném návrhu je uvažováno s 30 cm rezervou nad hladinu  $Q_5$ . Stěna je dlouhá 251 m. PPO bude z jedné strany zavázána do svahu u komunikace a z druhé strany s největší pravděpodobností také, ale až za mým řešeným úsekem. PPO je primárně vedena přes pozemky povodí Moravy. Při vyšší hladině bude zahájen evakuační plán.



Obr. 38) PPO města Bílovice and Svitavou (fialově – rozliv  $Q_{100}$ , modře – rozliv  $Q_{20}$ , žlutě – rozliv  $Q_5$ , červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrazení).





*Obr. 39) Oblast výstavby PPO na pravém břehu (poproudní pohled).*

## 8. Hydraulické ověření navržené protipovodňové ochrany

Po návrhu PPO byl zhotoven výpočet pro zjištění kapacity koryta řeky. V rámci modelu byla zadána PPO jako „levees“ a model byl přepočten. Výsledky jsou uvedeny v tab. 11. až 13.

Tab. 11. Posouzení kapacity příčných profilů po návrhu PPO při  $Q_5$ .

Označení PF	Staničení [km]	Výška hlad. [m n. m.]	LB [m n. m.]	PB [m n. m.]	Vybřežení LB	Vybřežení PB	Rozdíl úrovní hladin [m]
PF77	17.1742	225.7	225.86	224.8	NE	ANO	0.00
PF76	17.0484	225.53	225.79	225.09	NE	ANO	0.00
PF75	16.9037	225.37	225.62	224.67	NE	ANO	0.01
PF74	16.7771	225.26	225.81	224.73	NE	ANO	0.02
PF73	16.6568	225.11	225.98	225.18	NE	NE	0.02
PF72	16.4169	224.7	225.68	224.89	NE	NE	0.00
PF71	16.3592	224.42	224.49	224.43	NE	NE	0.00
PF70	16.3187	223.11	223.68	223.44	NE	NE	0.01
PF69	16.2187	222.96	223.23	223.24	NE	NE	0.00
PF68	16.0890	222.7	223.03	223.08	NE	NE	0.01
PF67	16.0107	222.51	222.42	223.06	ANO	NE	0.01
PF66	15.9557	222.46	222.08	222.79	ANO	NE	0.01
PF65	15.8906	222.42	222.05	222.95	ANO	NE	0.01
PF64	15.8777	222.37	223.67	223.69	NE	NE	0.01
PF63	15.8402	222.36	222.39	225.67	NE	NE	0.00
PF62	15.7598	222.31	221.59	221.87	ANO	ANO	0.01
PF61	15.6695	222.19	223.2	222.95	NE	NE	0.05
PF60	15.6235	222.09	223.76	223.4	NE	NE	0.02
PF59	15.5769	222.06	224.04	223.98	NE	NE	0.02
PF58	15.5537	221.97	221.85	222.87	ANO	NE	0.02
PF57	15.5220	221.93	222.39	221.97	NE	NE	0.02
PF56	15.4329	221.8	222.26	221.64	NE	ANO	0.02
PF55	15.3284	221.61	221.52	221.44	ANO	ANO	0.03
PF54	15.2656	221.5	221.51	221.39	NE	ANO	0.03
PF53	15.2459	221.47	221.36	221.45	ANO	ANO	0.03
PF52	15.1591	221.32	221.14	221.92	ANO	NE	0.00
PF51	15.0568	221.09	223.1	221.32	NE	NE	0.04
PF50	14.9931	220.83	222.17	221.83	NE	NE	0.04
PF49	14.9105	220.43	221.36	220.09	NE	ANO	0.05
PF48	14.8212	220.06	221.21	219.59	NE	ANO	0.04
PF47	14.7640	219.97	220.13	219.68	NE	ANO	0.04
PF46	14.7489	219.99	218.98	219.22	ANO	ANO	0.04
PF45	14.7140	219.89	219.12	219.68	ANO	ANO	0.05
PF44	14.6433	219.7	219.69	221.17	ANO	NE	0.06
PF43	14.5671	219.59	219.61	221.73	NE	NE	0.09
PF42	14.4649	219.43	219.17	220.39	ANO	NE	0.11
PF41	14.3800	219.29	219.02	219.25	ANO	ANO	0.12
PF40	14.3277	219.23	218.59	218.42	ANO	ANO	0.13
PF39	14.2561	219.03	219.22	220.52	NE	NE	0.15
PF38	14.1603	218.9	218.76	218.86	ANO	ANO	0.18
PF37	14.0925	218.81	218.15	219.01	ANO	NE	0.21
PF36	14.0226	218.7	219.1	220.27	NE	NE	0.23
PF35	13.9316	218.61	217.83	218.03	ANO	ANO	0.25

Tab. 12. Posouzení kapacity příčných profilů po návrhu PPO při  $Q_{20}$ .

Označení PF	Staničení [km]	Výška hlad. [m n. m.]	LB [m n. m.]	PB [m n. m.]	Vybřežení LB	Vybřežení PB	Rozdíl úrovní hladin [m]
PF77	17.1742	226.24	225.86	224.8	ANO	ANO	0.04
PF76	17.0484	226.05	225.79	225.09	ANO	ANO	0.03
PF75	16.9037	225.85	225.62	224.67	ANO	ANO	0.03
PF74	16.7771	225.7	225.81	224.73	NE	ANO	0.03
PF73	16.6568	225.52	225.98	225.18	NE	ANO	0.02
PF72	16.4169	224.99	225.68	224.89	NE	ANO	0.01
PF71	16.3592	224.62	224.49	224.43	ANO	ANO	0.00
PF70	16.3187	223.85	223.68	223.44	ANO	ANO	0.04
PF69	16.2187	223.71	223.23	223.24	ANO	ANO	0.05
PF68	16.0890	223.42	223.03	223.08	ANO	ANO	0.06
PF67	16.0107	223.23	222.42	223.06	ANO	ANO	0.05
PF66	15.9557	223.22	222.08	222.79	ANO	ANO	0.06
PF65	15.8906	223.2	222.05	222.95	ANO	ANO	0.07
PF64	15.8777	223.13	223.67	223.69	NE	NE	0.06
PF63	15.8402	223.12	222.39	225.67	ANO	NE	0.06
PF62	15.7598	223.07	221.59	221.87	ANO	ANO	0.06
PF61	15.6695	222.99	223.2	222.95	NE	ANO	0.16
PF60	15.6235	222.85	223.76	223.4	NE	NE	0.09
PF59	15.5769	222.81	224.04	223.98	NE	NE	0.09
PF58	15.5537	222.71	221.85	222.87	ANO	NE	0.10
PF57	15.5220	222.68	222.39	221.97	ANO	ANO	0.11
PF56	15.4329	222.55	222.26	221.64	ANO	ANO	0.10
PF55	15.3284	222.35	221.52	221.44	ANO	ANO	0.09
PF54	15.2656	222.26	221.51	221.39	ANO	ANO	0.11
PF53	15.2459	222.22	221.36	221.45	ANO	ANO	0.09
PF52	15.1591	222.06	221.14	221.92	ANO	ANO	0.02
PF51	15.0568	221.82	223.1	221.32	NE	ANO	0.08
PF50	14.9931	221.5	222.17	221.83	NE	NE	0.15
PF49	14.9105	221.03	221.36	220.09	NE	ANO	0.05
PF48	14.8212	220.59	221.21	219.59	NE	ANO	0.02
PF47	14.7640	220.52	220.13	219.68	ANO	ANO	0.02
PF46	14.7489	220.55	218.98	219.22	ANO	ANO	0.02
PF45	14.7140	220.44	219.12	219.68	ANO	ANO	0.03
PF44	14.6433	220.26	219.69	221.17	ANO	NE	0.03
PF43	14.5671	220.09	219.61	221.73	ANO	NE	0.03
PF42	14.4649	219.89	219.17	220.39	ANO	NE	0.02
PF41	14.3800	219.69	219.02	219.25	ANO	ANO	0.03
PF40	14.3277	219.64	218.59	218.42	ANO	ANO	0.04
PF39	14.2561	219.42	219.22	220.52	ANO	NE	0.04
PF38	14.1603	219.24	218.76	218.86	ANO	ANO	0.03
PF37	14.0925	219.14	218.15	219.01	ANO	ANO	0.04
PF36	14.0226	219.01	219.1	220.27	NE	NE	0.09
PF35	13.9316	218.88	217.83	218.03	ANO	ANO	0.06

Tab. 13. Posouzení kapacity příčných profilů po návrhu PPO při  $Q_{100}$ .

Označení PF	Staničení [km]	Výška hlad. [m n. m.]	LB [m n. m.]	PB [m n. m.]	Vybřežení LB	Vybřežení PB	Rozdíl úrovní hladin [m]
PF77	17.1742	226.76	225.86	224.8	ANO	ANO	0.04
PF76	17.0484	226.56	225.79	225.09	ANO	ANO	0.04
PF75	16.9037	226.34	225.62	224.67	ANO	ANO	0.03
PF74	16.7771	226.17	225.81	224.73	ANO	ANO	0.04
PF73	16.6568	225.96	225.98	225.18	NE	ANO	0.03
PF72	16.4169	225.29	225.68	224.89	NE	ANO	0.00
PF71	16.3592	224.86	224.49	224.43	ANO	ANO	0.00
PF70	16.3187	224.67	223.68	223.44	ANO	ANO	0.17
PF69	16.2187	224.54	223.23	223.24	ANO	ANO	0.20
PF68	16.0890	224.27	223.03	223.08	ANO	ANO	0.25
PF67	16.0107	224.08	222.42	223.06	ANO	ANO	0.25
PF66	15.9557	224.11	222.08	222.79	ANO	ANO	0.26
PF65	15.8906	224.09	222.05	222.95	ANO	ANO	0.27
PF64	15.8777	224.04	223.67	223.69	ANO	ANO	0.28
PF63	15.8402	224.02	222.39	225.67	ANO	NE	0.28
PF62	15.7598	223.97	221.59	221.87	ANO	ANO	0.29
PF61	15.6695	223.92	223.2	222.95	ANO	ANO	0.30
PF60	15.6235	223.74	223.76	223.4	NE	ANO	0.33
PF59	15.5769	223.7	224.04	223.98	NE	NE	0.35
PF58	15.5537	223.54	221.85	222.87	ANO	ANO	0.33
PF57	15.5220	223.53	222.39	221.97	ANO	ANO	0.35
PF56	15.4329	223.4	222.26	221.64	ANO	ANO	0.34
PF55	15.3284	223.21	221.52	221.44	ANO	ANO	0.37
PF54	15.2656	223.07	221.51	221.39	ANO	ANO	0.34
PF53	15.2459	223.08	221.36	221.45	ANO	ANO	0.37
PF52	15.1591	223.02	221.14	221.92	ANO	ANO	0.39
PF51	15.0568	222.57	223.1	221.32	NE	ANO	0.24
PF50	14.9931	222.17	222.17	221.83	ANO	ANO	0.28
PF49	14.9105	221.95	221.36	220.09	ANO	ANO	0.31
PF48	14.8212	221.14	221.21	219.59	NE	ANO	0.02
PF47	14.7640	221.1	220.13	219.68	ANO	ANO	0.01
PF46	14.7489	221.16	218.98	219.22	ANO	ANO	0.03
PF45	14.7140	221.02	219.12	219.68	ANO	ANO	0.03
PF44	14.6433	220.87	219.69	221.17	ANO	NE	0.05
PF43	14.5671	220.65	219.61	221.73	ANO	NE	0.03
PF42	14.4649	220.42	219.17	220.39	ANO	ANO	0.03
PF41	14.3800	220.16	219.02	219.25	ANO	ANO	0.05
PF40	14.3277	220.13	218.59	218.42	ANO	ANO	0.04
PF39	14.2561	219.9	219.22	220.52	ANO	NE	0.05
PF38	14.1603	219.73	218.76	218.86	ANO	ANO	0.06
PF37	14.0925	219.63	218.15	219.01	ANO	ANO	0.06
PF36	14.0226	219.5	219.1	220.27	ANO	NE	0.07
PF35	13.9316	219.37	217.83	218.03	ANO	ANO	0.06

Vzhledem k zjištění nekapacitního koryta řeky Svitavy, které způsobuje velké rozlivy, a tudíž mnohé škody, byla zpracována studie návrhu.

Návrh PPO a jejich situování na určených místech (příloha P4) je v této práci pouze formou studie, tudíž ideové a zjednodušené. Při skutečné realizaci PPO je nutné brát ohled na územní plánovací dokumentaci obce a dotčené pozemky soukromých majitelů. Na místech určených pro výstavbu PPO je nutné provést geologický průzkum a zjištění proudění podzemní vod. Navržené úhlové stěny je nutno staticky posoudit proti vylomení a přesně definovat jejich založení do podloží. U mobilního hrazení se musí přesně určit místo uskladnění, a to možno, co nejbližší jejich umístění, při průchodu povodně. Vzhledem k celkové navržené délce i výšce PPO, není tento návrh nejvhodnější, a to z hlediska ekonomického a estetického. Možnost řešení tohoto problému je například nuceným rozlivem do nezastavěného území nebo vybudováním suchých poldrů, a tím zmenšením povodňové vlny nad zájmovou lokalitou.

Po návrh PPO a následným zanesením do výpočtu, byla ověřena kapacita koryta řeky. V rámci modelu byla zadána PPO jako „levees“ a model byl přepočten. PPO zásadně neovlivní výšku hladiny, pouze ji nepatrně navýší v řádech centimetrů v rámci průtoku  $Q_5$ ,  $Q_{20}$ .

Stabilní PPO, kterou tvoří úhlová stěna, musí být založena v nezámrzné hloubce na štětové stěně. Samotná stěna je široká 0,5 m, vysoká max. 1,9 m a tvoří ji železobeton. Železobetonový povrch stěny může být, z hlediska estetického, obložen kamenem. Podél stěny bude v drenážním obsypu, který tvoří štěrk 16-32 mm, veden patní drén DN2 50. Nad samotným štěrkem musí také být zpětný hutněný násyp. Následně bude povrch terénu ohumusován a oset.

## 9. Závěr

Bakalářská práce je zaměřena na téma návrhu úpravy koryta s přihlédnutím k PPO a revitalizaci, v říčním kilometru 13,9316 – 17,1742 s 42 příčnými řezy. Práce je vytvořena na základě dostupných dat od správce povodí Moravy. Zásadou těchto dat byly zjištěny průběhy hladin v korytě a vynesené rozlivy do situace. Z hydraulických výpočtů je patrné, že dosavadní koryto je nekapacitní pro extrémní průtoky. Ne kapacitní koryto způsobuje velké rozlivy a tudíž i škody na majetku. Vzhledem k tomuto faktu se začalo uvažovat nad vhodnou PPO. Kvůli nedostatku prostoru a husté zástavbě je navržena jako PPO stabilní úhlová stěna s kombinací mobilního hrazení u mostů a lávky. Mobilní hrazení musí být uskladněno co nejbližší určeným místům návrhu tak, aby byla možná co nejrychlejší a nejefektivnější instalace hrazení. Místo uskladnění musí být snadno přístupné. Instalaci mobilního hrazení bude prováděno jednotkou požární ochrany obce. Z celé zájmové lokality je nejdůležitější ochránit historickou část a čistírnu odpadních vod obce. Samotný návrh úpravy je idealizovaný z důvodu výpočtu modelu v 1D.

V zájmové lokalitě je vybudován náhon, protékající průmyslovou zónou Bíloveckého mlýnu. Náhon však není zanesen ve výpočtovém modelu programu HEC-RAS, a to z důvodu nedostatku informací o něm samotném.

K realizaci toho návrhu by bylo zapotřebí větší množství podkladů. K přesnějšímu zpracování výpočtu, by bylo vhodnější ho provést v 2D modelu, nikoliv ve zjednodušeném 1D modelu. Také by bylo vhodnější řešit delší úsek toku s přesnějšími informacemi o PPO nad řešeným úsekem. Konkrétní navržena PPO má vysoké finanční požadavky na realizaci. Bylo by proto vhodné, v dalším z mnoha kroků přesnějšího návrhu, přepočítat hodnotu ochráněného území. Za úvahu by potom stála samotná výstavba PPO. Při samotné výstavbě PPO je nutné vyřešit odkoupení dotčených pozemků, přes které vede návrh ochrany, od soukromých majitelů. Na místech určených pro výstavbu PPO je nutné v blízké budoucnosti provést geologický průzkum a hydraulika proudění podzemních vod.

Kolem koryta řeky Svitavy v obci Bílovice nad Svitavou se nenachází dostatek prostoru k výstavbě přírodě bližšímu opatření, jako jsou například zemní ochranné hráze nebo suché poldry. Vzhledem k nedostatku prostoru v obci zde není možné provést ani revitalizaci toku. Ke snížení povodňové vlny by pomohla výstavba suchého poldru nad zájmovou lokalitou (nižší finanční požadavky na PPO). Tuto úvahu nelze potvrdit, ani vyvrátit, jelikož se jedná o jinou lokalitu, která není předmětem této bakalářské práce.

## 10. Literatura

- [1] Svitava. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://cs.wikipedia.org/wiki/Svitava>
- [2] Charakteristika zájmového území. *Bílovice nad Svitavou* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: [https://www.edpp.cz/bil\\_charakteristika-zajmoveho-uzemi/](https://www.edpp.cz/bil_charakteristika-zajmoveho-uzemi/)
- [3] Hydrologické údaje. *Bílovice nad Svitavou* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: [https://www.edpp.cz/bil\\_hydrologicke-udaje/](https://www.edpp.cz/bil_hydrologicke-udaje/)
- [4] JANDORA, Jan a ŠULC, Jan, 2007. *Hydraulika: Modul 01*. Brno: Akademické nakladatelství CERM. ISBN 978-80-7204-512-9
- [5] *Mapy* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://mapy.cz/zakladni?x=16.7104599&y=49.2400879&z=10&l=0&source=muni&id=5743>
- [6] HEC-RAS. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/HEC-RAS>
- [7] QGIS. *Wikipedia* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://en.wikipedia.org/wiki/QGIS>
- [8] Autodesk. *Co je AutoCAD Civil 3D* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <http://www.cadstudio.cz/civil3d>
- [9] Návrh a výpočet složeného koryta. *ČVUT Hydraulika* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: [http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Toky/Predmety/YRIM/ke\\_stazeni/prednasky/10/rin\\_10-1.pdf](http://hydraulika.fsv.cvut.cz/Toky/Predmety/YRIM/ke_stazeni/prednasky/10/rin_10-1.pdf)
- [10] Stavba protipovodňových stěn. *rajce.net* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: [https://zahradkarka.rajce.idnes.cz/Stavba\\_protipovodnovych\\_sten?order=create&src=0](https://zahradkarka.rajce.idnes.cz/Stavba_protipovodnovych_sten?order=create&src=0)
- [11] Open channel hydraulics. *Chow* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: CHOW, Ven te. *Open-Channel Hydraulics*. McGraw-Hill Kogakusha Tokyo : International student edition, 1959.
- [12] Metodiky. *Voda v krajině* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <http://www.vodavkrajine.cz/podklady/metodiky>
- [13] HEC-RAS Hydraulická referenční příručka. *PDFDrive* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://www.pdfdrive.com/hec-ras-hydraulic-reference-manual-hydrologic-engineering-e6705761.html>
- [14] Co je GIS?. *Sphinx* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <http://training.gismentors.eu/open-source-gis/knihovny/gdal.html>

- [15] E-learning. *Katalog drsnosti* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://sites.google.com/site/katalogdrsnosti/e-learning><http://www.cs-povodne.eu/Protipovodnova-ochrana-a-povodne/Protipovodnova-opatreni>
- [16] Protipovodňová zeď aneb vodníci třeste se. *Přerov* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <https://m.prerov.eu/cs/o-prerove/foto-basnicka-soutez-k-pocte-josefu-kainarovi/soutezni-fotografie/protipovodnova-zed-aneb-vodnici-treste-se.html>
- [17] Informace o společném zařízení. *Katalog společných zařízení pozemkových úprav* [online]. [cit. 2019-05-16]. Dostupné z: <http://geo102.fsv.cvut.cz/ksz/najdi-zarizeni/zobraz/201>



## 11. Seznam obrázků

Obr. 1)	Schéma pro výpočet nerovnoměrného proudění. [4].....	7
Obr. 2)	Mapa s vyznačenou zájmovou lokalitou. [5] .....	8
Obr. 3)	Nadmořská výška města Bílovice nad Svitavou a jeho blízkého okolí. [2] .....	9
Obr. 4)	Železniční most, říční kilometr 14,743. ....	10
Obr. 5)	Silniční most, říční kilometr 15,584. ....	11
Obr. 6)	Zaústění náhonu, říční kilometr 15,720. ....	11
Obr. 7)	Ocelová příhradová lávka, říční kilometr 15,877.....	12
Obr. 8)	Odbočení náhonu, říční kilometr 16,368. Jez Bílovice, říční kilometr 16,359. ....	12
Obr. 9)	Vodní toky města Bílovice nad Svitavou a jeho blízkého okolí. [3] .....	14
Obr. 10)	Ohrožené objekty města Bílovice nad Svitavou. [3] .....	15
Obr. 11)	Sklonitost terénu města Bílovice nad Svitavou a jeho blízkého okolí. [2] .....	17
Obr. 12)	Pracovní prostředí programu HEC-RAS. ....	19
Obr. 13)	Pracovní prostředí programu QGIS. ....	20
Obr. 14)	Pracovní prostředí programu AutoCAD Civil 3D.....	21
Obr. 15)	Situace řešeného úseku.....	21
Obr. 16)	Ukázka složeného lichoběžníkového koryta. [9] .....	27
Obr. 17)	Ukázka zemní ochranné hráze. [16] .....	28
Obr. 18)	Ukázka stabilní protipovodňové zdi. [17] .....	29
Obr. 19)	Ukázka mobilní protipovodňové zdi. [10] .....	29
Obr. 20)	Ukázka suchého poldru. [17] .....	30
Obr. 21)	PPO města Bílovice and Svitavou (fialově – rozliv $Q_{100}$ , modře – rozliv $Q_{20}$ , žlutě – rozliv $Q_5$ , červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrazení). ....	32
Obr. 22)	PPO města Bílovice and Svitavou (fialově – rozliv $Q_{100}$ , modře – rozliv $Q_{20}$ , žlutě – rozliv $Q_5$ , červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrazení).....	33
Obr. 23)	Oblast výstavby PPO na levém břehu (poproudí pohled). ....	33
Obr. 24)	PPO města Bílovice and Svitavou (fialově – rozliv $Q_{100}$ , modře – rozliv $Q_{20}$ , žlutě – rozliv $Q_5$ , červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrazení).....	34
Obr. 25)	Oblast výstavby PPO na levém břehu.....	34
Obr. 26)	PPO města Bílovice and Svitavou (fialově – rozliv $Q_{100}$ , modře – rozliv $Q_{20}$ , žlutě – rozliv $Q_5$ , červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrazení).....	35
Obr. 27)	Objekty výstavby PPO u železničních mostů na levém břehu. ....	35
Obr. 28)	PPO města Bílovice and Svitavou (fialově – rozliv $Q_{100}$ , modře – rozliv $Q_{20}$ , žlutě – rozliv $Q_5$ , červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrazení).....	36
Obr. 29)	Oblast výstavby PPO na levém (SO5) i pravém (SO6) břehu (protiproudí pohled).....	36
Obr. 30)	PPO města Bílovice and Svitavou (fialově – rozliv $Q_{100}$ , modře – rozliv $Q_{20}$ , žlutě – rozliv $Q_5$ , červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrazení).....	37

Obr. 31)	PPO města Bílovice and Svitavou (fialově – rozliv Q100, modře – rozliv Q20, žlutě – rozliv Q5, červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrzení).....	38
Obr. 32)	Oblast výstavby PPO na levém břehu u čistírny odpadních vod. ....	38
Obr. 33)	PPO města Bílovice and Svitavou (fialově – rozliv Q100, modře – rozliv Q20, žlutě – rozliv Q5, červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrzení).....	39
Obr. 34)	Oblast výstavby PPO na levém (SO7) I pravém (SO8) břehu (poproudň pohled). ....	39
Obr. 35)	Oblast výstavby PPO na pravém břehu (protiproudň pohled). ....	40
Obr. 36)	PPO města Bílovice and Svitavou (fialově – rozliv Q100, modře – rozliv Q20, žlutě – rozliv Q5, červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrzení).....	40
Obr. 37)	Oblast výstavby PPO na levém břehu (protiproudň pohled). ....	41
Obr. 38)	PPO města Bílovice and Svitavou (fialově – rozliv Q100, modře – rozliv Q20, žlutě – rozliv Q5, červeně – úhlová stěna, světle modrá – mobilní hrzení).....	41
Obr. 39)	Oblast výstavby PPO na pravém břehu (poproudň pohled).....	42

## 12. Seznam tabulek

Tab. 1.	Objekty na toku v zájmové lokalitě. ....	10
Tab. 2.	Základní hydrologické charakteristiky vodního toku Svitavy na území obce Bílovice nad Svitavou. [3] .....	13
Tab. 3.	Základní hydrologické charakteristiky dalších vybraných vodních toků na území obce Bílovice nad Svitavou. [3] .....	13
Tab. 4.	Charakteristika dané klimatické oblasti. [2] .....	16
Tab. 5.	Využití pozemků v obci Bílovice nad Svitavou. [2] .....	16
Tab. 6.	Použité hodnoty drsnosti pro jednotlivé povrchy v řešeném úseku toku. ....	22
Tab. 7.	Ukázka tabulky pro stanovení Manningova drsnostního součinitele $n$ . [15] .....	22
Tab. 8.	Posouzení kapacity příčných profilů současného stavu koryta v daném úseku při $Q_5$ . ....	23
Tab. 9.	Posouzení kapacity příčných profilů současného stavu koryta v daném úseku při $Q_{20}$ . ....	24
Tab. 10.	Posouzení kapacity příčných profilů současného stavu koryta v daném úseku při $Q_{100}$ . ...	25
Tab. 11.	Posouzení kapacity příčných profilů po návrhu PPO při $Q_5$ .....	43
Tab. 12.	Posouzení kapacity příčných profilů po návrhu PPO při $Q_{20}$ . ....	44
Tab. 13.	Posouzení kapacity příčných profilů po návrhu PPO při $Q_{100}$ . ....	45

### 13. Seznam zkratek a symbolů

#### Zkratky

PPO	protipovodňová ochrana
LB	levý břeh
PB	pravý břeh
DMR5G	digitální model terénu páté generace
PF	příčný profil
ŽB	železobeton

#### Symboly

$Q$	$[m^3/s]$	průtok
$Q_a$	$[m^3/s]$	dlouhodobý průměrný průtok
$Q_m$	$[m^3/s]$	m-denní průtok
$Q_N$	$[m^3/s]$	N-roční průtok
$C$	$[-]$	Chézyho součinitel
$g$	$[m/s^2]$	tíhové zrychlení
$h$	$[m]$	výška hladiny vody
$h_{mj}$	$[m]$	ztráty místní
$h_{tj}$	$[m]$	ztráty třením po délce
$h_{zj}$	$[m]$	celková ztrátová výška
$i_{0j}$	$[-]$	průměrný sklon dna
$i_{pj}$	$[-]$	průměrný sklon čáry energie
$R$	$[m]$	hydraulický poloměr
$S$	$[m^2]$	plocha profilu
$v$	$[m/s]$	rychlost v profilu
$\alpha$	$[-]$	Coriolisovo číslo
$\Delta h$	$[m]$	rozdíl hladin v úseku
$\Delta L$	$[m]$	úsek délky
$\xi$	$[-]$	součinitel místní ztráty

## 14. Seznam příloh

P1	SITUACE ŠIRŠÍCH VZTAHŮ	M 1:10 000
P2	SITUACE STÁVAJÍCÍHO STAVU	M 1:10 000
P3	SITUACE ROZLIVŮ Q100, Q20 A Q5 PŘED OCHRANOU	M 1:5 000
P4	SITUACE S PROTIPOVODŇOVOU OCHRANOU	M 1:5 000
P5	VZOROVÝ PŘÍČNÝ ŘEZ PPO	M 1:50